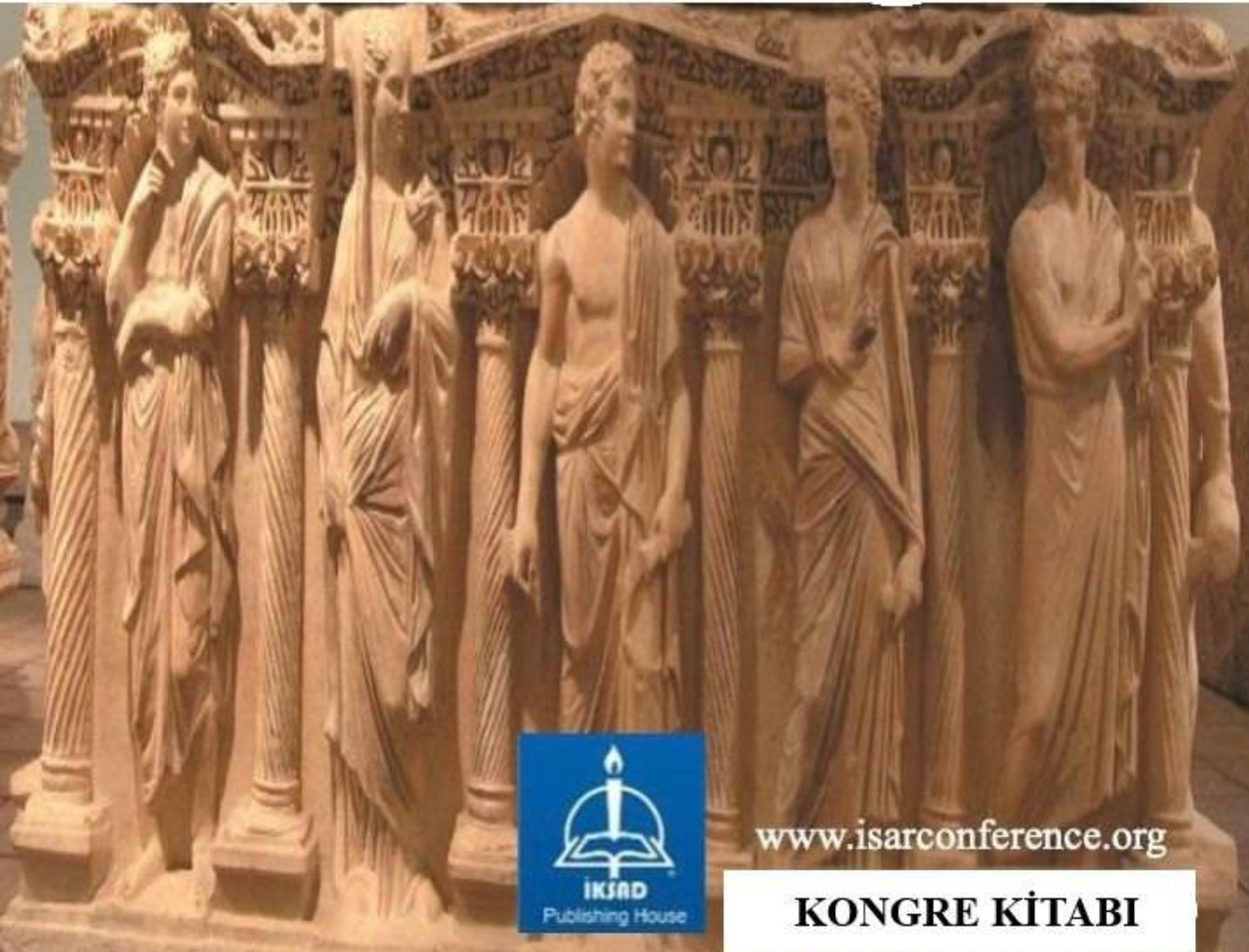




10. INTERNATIONAL SELÇUK

SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS
24-25 August 2026- KONYA

EDİTÖR:
Prof.Dr. Füsün SUNAR
Prof.Dr. Hüseyin KOTAMAN



www.isarcconference.org

KONGRE KİTABI



INDEX

CONGRES ID		II-V
PROGRAM		VI-XXXII
GALLERY		XXXIII-XXXVI
ACADEMIC INCENTIVE		XXXVII
NOTIFICATIONS		XXXVIII-LI



CONGRESS ID
CONGRESS TITLE

10th INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
DATE AND PLACE

24-25, AUGUST 2026 KONYA PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CONGRE COORDINATOR

Beyza KUŞKIRAN

EDITOR

Prof. Dr. Füsün SUNAR
Prof. Dr. Hüseyin KOTAMAN

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. Yedigir 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 YARIŞ
Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ
Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK
Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI
Assoc. Prof. Dr. Zamiğ TEHMEZOV
Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN
Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU
Assoc. Prof. Dr. Zülfiyya 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: '978-625-378-712-7'

KİTAP YAYIN TARİHİ: 05.09.2026

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

SCIENCE AND ADVISORY COMMITTEE

Prof.Dr.EMİNE NAS
Selçuk University

Prof. Dr. Jain SADHNA
University Of Delhi

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University

Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN
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. Yadiğar GÜLSEVEN SIDIR
Bitlis Eren University

Prof. Dr. Zharkynbike 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
Azerbaijan 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. Zamig TEHMEZOV
Azerbaijan Devlet Pedagoji University

Assoc. Prof. Dr. Zulfıyya ISMAYIL
Nahçıvan Dövlət Universiteti

Dr. Ali ARSHAD
University Utara

Dr. Aygün MEHERREMOVA
Bakü Devlet University

Dr. Aziz İLGAZİ
Harran University

Dr. Bhavtosh AWASTHI
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
Azerbaijan Devlet İktisat University

Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged

Dr. Tatia DOLİDZE
European University



Scientific Development and Innovative Approach

10th INTERNATIONAL SELÇUK SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS 24-25 AUGUST 2026 KONYA/TÜRKİYE

Congress Program

Participant Countries:

**TÜRKİYE- AZERBAIJAN-ALBANIA – BOTSWANA – BRASİL – BANGLADESH - FAS-GEORGIA –
INDIA – IRAN – JORDAN – MALAYSIA – MOLDOVA – MOROCCO – NIGERIA – PAKISTAN –
ROMANIA – RUSSIA – SERBIA – USA- 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: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

<https://us06web.zoom.us/j/86405257292?pwd=UQPEMqq3M1JjJmTvbRslp74tw2aUHZ.1>

24.08.2026 / Hall-1, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10⁰⁰ : 12¹⁵



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Betaine-Based Deep Eutectic Solvent For Ultrasound-Assisted Extraction Of Phenolic Compounds From Moringa Oleifera Leaves: Screening And Response Surface Optimization	Assoc. Prof. Dr. Ebru KURTULBAŞ ŞAHİN Asst. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Hybrid Deep Eutectic Solvent-Supramolecular Solvent (Des-Supras) Systems: An Emerging Strategy For Bioactive Compound Extraction	Assoc. Prof. Dr. Ebru KURTULBAŞ ŞAHİN Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Automatic Solvent Extraction Of Punica Granatum L. Flowers: Optimization Of Phenolic And Anthocyanin Contents And Evaluation Of Antioxidant Activity	Assist. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Rosehip Seed Extract-Loaded Alginate Microcapsules: Gastrointestinal Release, Oxidative Stability, Chemometric Evaluation And Characterization	Assist. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Effect Of Different Solvents On The Chemical Profile Of Extracts Obtained From Cedar Wood Sawdust: A Gc-MS	Yasemin TOKUR Assist. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Marmara Forestry Research Institute TÜRKİYE Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Automatic Solvent Extraction for Recovery of Phenolic Substance and Antioxidant Activity from <i>Cedrus libani</i> Wood Sawdust Waste	Yasemin TOKUR Assist. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Marmara Forestry Research Institute TÜRKİYE Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Effective Extraction Of Phenolic And Antioxidant Components From Black Mulberry (<i>Morus Nigra</i>) Leaves Through Multiple Response Optimization	Kamala ASGOROVA Assist. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Central Composite Design-Based Optimization Of Ultrasonic Bath Extraction Of Bioactive Compounds From Black Mulberry Leaves	Kamala ASGOROVA Assist. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ	Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE
Sustainable Recovery Of Bioactive Compounds From Grapevine Leaf Petioles: A Deep Eutectic Solvent-Based Ultrasound- Assisted Extraction Approach	Sıla Betül KORKMAZ Res.Assist.Rabia Nur BOZKURT Selin ŞAHİN	Istanbul Health and Technology University TÜRKİYE Istanbul University-Cerrahpaşa TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-2, Session-1



ANKARA LOCAL TIME

10⁰⁰ : 12⁰⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Optuna Based Performance Analysis Of Random Forest (Rf) Ve Light Gradient Boosting Machine (Lightgbm) Models In Wind Energy Forecasting	Hatice ŞİMŞEK Assoc. Prof. Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU	Karadeniz Teknik University TÜRKİYE
Deep Learning Based Classification Of Forest Fires	Bartu BAŞARAN Assist. Prof. Dr. Ali AKDAĞ	Tokat Gaziosmanpaşa University TÜRKİYE
Prediction Of Superconducting Critical Temperature Using Machine Learning Methods	Assist. Prof. Dr. Hasan UZEL Assist. Prof. Dr. Feyyaz ALPSALAZ Assist. Prof. Dr. Bekir Emre ALTUN	Amasya University TÜRKİYE
Weather Classification Based On Meteorological Parameters: A Comparative Study Of Ensemble Learning	Assist. Prof. Dr. Feyyaz ALPSALAZ Assist. Prof. Dr. Hasan UZEL Assist. Prof. Dr. Bekir Emre ALTUN	Amasya University TÜRKİYE
Investigation Of The Flexural Behavior Of Glass And Basalt Fiber-Reinforced Geopolymer Concretes After High-Temperature Exposure	Lect. Serpil AĞIRMAN Assoc. Prof. Dr. Barış BAYRAK Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN	Erzurum Technical University TÜRKİYE Kafkas University TÜRKİYE Atatürk University TÜRKİYE
An Example Of A Test Course For Accelerated Life Testing Of Agricultural Tractors	Furkan PEKTAŞ Ali Can TELLİOĞLU Aykut DANA	Tümosan Teknoloji Mühendislik Sanayi Ticaret A.Ş. TÜRKİYE
Analysis Of Nonlinear Site Response In The Hatay Region During The 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence Using Earthquake Horizontal-To-Vertical Spectral Ratios	Assist. Prof. Bilal ÖZASLAN	Kırşehir Ahi Evran University TÜRKİYE
Investigation Of The Post-Forging Mechanical Properties Of 6082 Aluminum Alloy Produced From Extruded And Cast Feedstocks	Ali DEBRE Assoc. Prof. Dr. Yakup YÜREKTÜRK	MSK Forge Metal A.Ş. TÜRKİYE Bursa Technical University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-3, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

10³⁰ : 12³⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Yasin ARSLANOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Development Of An Expanded Perlite- Ldpe Composite Material For Insulation Applications	Assoc. Prof. Dr. Görkem GEDİK Dilek AYKAN TANTUNÇ Fatma GÜMÜŞ Ayça BÜYÜKTUNCER	Pamukkale University TÜRKİYE Küçükler Textile, R&D Center TÜRKİYE
Theoretical Analysis Of The Effect Of Switching Frequency On Harmonic Performance And Power Losses In A Single-Phase Spwm Inverter	Mehmet Bahaddin FIRAT	MEGE Teknik A.Ş.TÜRKİYE
Quantifying The Energy Efficiency Penalty Of Deferred Maintenance On Motor Yachts: A Multi-Vessel Case Study	Emre Can TAŞDEMİR Toprak OBA Prof. Dr. Yasin ARSLANOĞLU	Istanbul Technical University TÜRKİYE
Enabling Variable-Speed Cpp Operation Via Charge Air Bypass: A Fuel Savings Analysis	Cihan ÇİMEN Toprak OBA Prof.Dr. Yasin ARSLANOĞLU	Istanbul Technical University TÜRKİYE
Assessment Of Large Language Model Code Generation Performance For Thermodynamic Cycle Analysis In Engineering Equation Solver	Dr. Emine OĞUR Dr. Emrullah KOCAMAN Assoc.Prof. Dr. Hüseyin YAĞLI	Adıyaman University TÜRKİYE Gaziantep University TÜRKİYE
Thermodynamic And Environmental Assessment Of Alternative Fuels In A Turbofan Engine	Dr. Emine OĞUR Dr. Emrullah KOCAMAN Assoc Prof. Dr. Hüseyin YAĞLI	Adıyaman University TÜRKİYE Gaziantep University TÜRKİYE
A Comparative Analysis Of The L-Matrix And Fine-Kinney Methods In The Emergency Department And A Stakeholder-Weighted Hybrid Risk-Prioritization Model Proposal	Çiğdem YURTSEVEN Assist. Prof. Dr.Özgür YURTSEVER	Gedik University TÜRKİYE Nişantaşı University TÜRKİYE
Evaluation Of The In Vitro Antileishmanial Activities And Cytotoxic Effects Of Aryl Aminoester Derivatives Against The Promastigotes Of Leishmania Major, Leishmania Tropica, And Leishmania Infantum	Assist. Prof. Dr.Baycan MOR	Kafkas University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-4, Session-2

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	10³⁰ : 12³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Füsün SUNAR

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Anxiety, Coping Mechanisms, And Academic Stress In Health Sciences Students During Examinations	Lect.Nilay ŞAHİN Assoc. Prof. Dr.Irmak KARADUMAN ER	Çankırı Karatekin University TÜRKİYE
Association Between The Endothelial Activation And Stress Index And Diabetic Macular Edema In Type 2 Diabetes Mellitus	Assist. Prof. Dr.Büşra ÇALIŞKAN Op. Dr. Nurcan GÜRSOY	Atatürk University TÜRKİYE Of State Hospital TÜRKİYE
Performance Of Three Large Language Models (Claude, Chatgpt, And Gemini) On Clinical Scenarios Of Local Anesthetic Systemic Toxicity: A Comparative Vignette-Based Study	Ömer KEKLİCEK	Konya City Hospital TÜRKİYE
The Relationship Between Online Food Ordering Attitude,Eating Behavior And Cooking Skills	Sıla EKİCİ Assoc. Prof. Dr. Semra NAVRUZ VARLI	Gazi University TÜRKİYE
Chrononutrition In Polycystic Ovary Syndrome: An Evaluation Of Circadian Rhythm, Sleep, And Metabolic Health In Light Of Current Evidence	Rabia DEVECİ PAŞA Prof. Dr. Didem ÖNAY DERİN	Selçuk University TÜRKİYE
Lifelong Changes In Muscle Mass And Sarcopenia	Rabia DEVECİ PAŞA Prof. Dr. Didem ÖNAY DERİN	Selçuk University TÜRKİYE
The Effect Of L-Citrulline And Caffeine Intake On Post-Exercise Autonomous Recovery And Neuromuscular Efficiency	Merve KOCA Prof. Dr. Füsün SUNAR	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE
The Effect Of Combined Ergogenic Aid On Muscle Activation Patterns And Dynamic Muscle Strength During A Bike Ergometer Test In Sedentary And Recreatively Active Youth	Emine CERANOĞLU Prof. Dr. Füsün SUNAR	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE
The Use Of Artificial Intelligence Technologies In The Nursing Care Process	Lect.Ekin İrem ÇİFÇİ Lect.Cemile Şeyma GÜMÜŞ KÜREKÇİ	Kapadokya University TÜRKİYE



24.08.2026 / Hall-5, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

10³⁰ : 12³⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Keziban UÇAR KARABULUT

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Seasonal Distribution Of Pulmonology Outpatient Visits Among Patients With Copd And Factors Associated With Hospitalization	Uzm. Dr. Yıldız UÇAR Lect.Dr. Muhammed KAMİLOĞLU Prof. Dr. Keziban UÇAR KARABULUT	Başkent University TÜRKİYE
Computational Investigation Of Apical Ligands And Their Effects On The Radiosensitizing Properties Of Mo ₆ I ₈ Clusters	Assist. Prof. Dr. Ashhan SÜMER	University of Health Sciences TÜRKİYE
Hadron Spectroscopy Via QCD Sum Rules: Recent Advances and Future Perspectives	Assist. Prof. Dr.Birten BARSBAY İNAÇ	Dogus University TÜRKİYE
Machine Learning-Based Prediction Of Upper-Back Musculoskeletal Symptoms Among Design Students: A Comparison Of Logistic Regression And Random Forest	Lect.Dr. Seçil KULAÇ	Bursa Technical University TÜRKİYE
Molecular Docking Investigation Of The Interactions Of A Carbamothioyl-Derived Ligand And Its Ruthenium(II) Complex With Cancer-Related Target Proteins	Lect.Dr. Ümmühan SOLMAZ	Mersin University TÜRKİYE
The Role Of Biochemical Biomarkers In The Assessment Of Wound Healing	Lect.Dr. Gülistan UYMAZ Dr. Yahya ALTINKAYNAK	Ardahan University TÜRKİYE
Metabolic Indicators And Clinical Implications In Postoperative Malnutrition	Lect.Dr. Gülistan UYMAZ Dr. Yahya ALTINKAYNAK	Ardahan University TÜRKİYE
Innovative Inventions Supporting Patient Safety In Invasive Nursing Practices	Hem. Emine CURAN Assist.Prof.Dr.Nadiye BARIŞ EREN	Tarsus University TÜRKİYE
Innovative Care Technologies For The Prevention Of Immobilization-Related Complications	Hem. Keziban AĞRAĞLI Assist.Prof.Dr.Nadiye BARIŞ EREN	Tarsus University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-6, Session-2



ANKARA LOCAL TIME

10³⁰ : 12³⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr.Merve BULDAÇ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Invisible Guardians Of Sustainable Cultural Heritage: Women's Spaces And Oral History — The Case Of The Balat Çavuş Bathhouse, Istanbul	Pınar SEZER	Independent Researcher
From A Historic Port To Public Life: Sustainable Urban Heritage In Tophane Through Galataport, Nusretiye Mosque And The Kılıç Ah Paşa Complex	Pınar SEZER	Independent Researcher
Integrated Use Of Artificial Intelligence, Image Processing And Nuclear Analysis For The Sustainable Conservation Of Cultural Heritage: An Interdisciplinary Approach	Pınar SEZER	Independent Researcher
From Production Space To An Industrial Museum: The Adaptive Reuse Of The Ertemler Olive Oil Factory	Assist. Prof. Dr. Ahmet KURNAZ	İstanbul Sabahattin Zaim University TÜRKİYE
Visible Window, Enclosed Interior: A Contemporary Reading Of The Building Envelope–Interior Relationship Through Historical Fake Window Practices	Assoc. Prof. Dr.Merve BULDAÇ	Dumlupınar University TÜRKİYE
From Body Scale To Spatial Decoding: The Transformation Of Body- Space Relationship In Cinema	Lect.Ayşegül KOÇ ÜNLÜSOY	Yozgat Bozok University TÜRKİYE
From Ocularcentrism To Tactile Space: A Phenomenological Reading Of Yozgat Bozok University Faculty Of Engineering And Architecture Through 'Eyes Of The Skin'	Lect.Ayşegül KOÇ ÜNLÜSOY	Yozgat Bozok University TÜRKİYE
Reflections Of Turkish Music In Balkan Music And Instrumental Performance Practices	Assist. Prof. Dr.Özcan ÇETİK	Necmettin Erbakan University TÜRKİYE
From Tradition To Contemporary: Reflections Of Anatolian Weaving Culture In Contemporary Sculpture	Assist.Prof.Dr.Hokuma SAFARLI AGHASOY Handan POLAT	Atatürk University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-7, Session-3



ANKARA LOCAL TIME

12³⁰ : 14⁴⁵



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Lect. Gizem YILMAZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Use Of Enamel Matrix Derivative And Periacryl® In The Tunnel Technique Supported By A Subepithelial Connective Tissue Graft: A Case Report	Res.Assist.Can Okan GÜL Dr. Dt. Süleyman Ziya ŞENYURT Prof. Dr. Kamile ERCIYAS	Gaziantep University TÜRKİYE
Full-Mouth Prosthetic Rehabilitation In An Adult Patient With Open Bite Malocclusion: A Case Report	Lect. Gizem YILMAZ	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Forensic Dentistry Applications	Lect. Gizem YILMAZ	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Aesthetic Rehabilitation Of Anterior Teeth With Hypomineralization And Diastema Using Lamina Veneers: A Case Report	Uzm. Dt. Sedef KURT	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Aesthetic Rehabilitation Of A Patient With Surgical Phobia And Impacted Canine Using A Fixed Partial Denture (11-14): A Case Report	Uzm. Dt. Sedef KURT	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Fixed And Removable Prosthetic Rehabilitation In Individuals With Disabilities: A Case Report	Uzm. Dt. Rabia ÇİÇEK	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Full-Mouth Tooth- And Implant-Supported Prosthetic Rehabilitation In A Patient With A Severe Class Ii Occlusal Relationship: A Case Report	Uzm. Dt. Rabia ÇİÇEK	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Transition From Family-Centered Care To Child-Centered Care In Pediatric Nursing From A Philosophy Of Science Perspective	Res. Assist.Aslıhan HACISALİHOĞLU	Çukurova University TÜRKİYE
Critical Thinking In Nursing	Res. Assist.Aslıhan HACISALİHOĞLU	Çukurova University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-8, Session-4



ANKARA LOCAL TIME

12³⁰ : 14³⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr.Mehmet Fatih ÜNAL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Determination Of The Relationship Between Borderline Personality Traits, Depression And Self-Disgust	Hasan Doğuş KARAKOÇ Assist. Prof. Dr.Nilgün ONNAR	Arel University TÜRKİYE
Examining God Image Among Mental Health Professionals In Terms Of Demographic And Psychosocial Variables	Ömer YILMAZ	Istanbul Arel University TÜRKİYE
An Examination Of The Relationships Among Employees' Perceptions Of Organizational Justice, Psychological Contract Violation, And Organizational Citizenship Behaviors	Res.Assist.Ayça IIGAZ Zeynep ERDEM Umut KÜÇÜKÇOBAN Halil İbrahim KÜÇÜKTOSUN	Konya Gıda Ve Tarım University TÜRKİYE
Comparison Of Romantic Relationships Initiated Through Social Media And Face-To-Face In Terms Of Attachment Styles, Social Media Addiction, And Personality Traits	Yasemin Ayşe SANCAK	İstanbul Arel University TÜRKİYE
The Mythicization Of The Political Sphere And The Modern Technique Of Myth In The Context Of Ernst Cassirer's The Myth Of The State	Assist. Prof. Dr.Mehmet Fatih ÜNAL	Afyon Kocatepe University TÜRKİYE
Parental Burnout Among Parents Of Children With Autism Spectrum Disorder: Risk And Protective Factors	Abdulsamet GÜMLÜCE Dr. Uğur KAÇMAZ Prof. Dr. Yeliz KINDAP TEPE	Ondokuz Mayıs University TÜRKİYE
Digital Parenting Strategies In The Prevention Of Adolescent Digital Addiction: A Review Of Current Literature	Ecenur KARA Assist. Prof. Dr.Elif ÜNAL Prof. Dr. Yeliz Kindap TEPE	Ondokuz Mayıs University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-9, Session-4



ANKARA LOCAL TIME

12³⁰ : 15⁰⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Aliye ÇİLAN AKIN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Impressions Of Konya By Teachers From Manisa (July 1939)	Prof. Dr. İsmet ÜZEN	Kilis 7 Aralık University TÜRKİYE
Trip Of Manisa Teachers To Hatay (July 1939)	Prof. Dr. İsmet ÜZEN	Kilis 7 Aralık University TÜRKİYE
Clinical And Laboratory Characteristics And Tolerance Development In Infants With Cow's Milk Protein-Induced Allergic Proctocolitis: A Single-Center Experience	Uzm. Dr. Özgen SOYÖZ Uzm. Dr. Özge KANGALLI BOYACIOĞLU	Bakırçay University TÜRKİYE
Education Philosophy And Play	Prof. Dr. Hüseyin KOTAMAN	Harran University TÜRKİYE
Sustainability Education	Prof. Dr. Hüseyin KOTAMAN	Harran University TÜRKİYE
Effect Of Medium Viscosity And Alternating Magnetic Field Amplitude On The Hyperthermia Performance Of Ni 0.5 Mn 0.5 Gd 0.05 Fe 1.95 O 4 Nanoparticles	Lect.Dr. Çiğdem Elif AKGÜN	Muğla Sıtkı Koçman University TÜRKİYE
Lessons From An Animation: An Analysis Of The Film Inside Out In The Context Of Social And Emotional Learning	Derya BEKİROĞLU Assoc. Prof. Dr.Nur ÜTKÜR- GÜLLÜHAN	Istanbul University- Cerrahpaşa TÜRKİYE
The Trajectory Of Financial Literacy In Primary School Curricula Under The Türkiye Century Maarif Model: The Case Of Life Studies And Social Studies	Derya BEKİROĞLU Assoc. Prof. Dr.Nur ÜTKÜR- GÜLLÜHAN	Istanbul University- Cerrahpaşa TÜRKİYE
The German Online-Verfahren In Civil Procedure: A Pilot Procedural Model For Digital Litigation And Its Relevance For Turkish Law	Vedat ÇALIŞKAN	Erciyes University TÜRKİYE
Factors Affecting The Competitiveness Of Thermal Tourism Businesses: A Literature Review	Prof. Dr. Aliye ÇİLAN AKIN Assist. Prof. Dr.Adnan AKIN	Bolu Abant İzzet Baysal University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-10, Session-4



ANKARA LOCAL TIME

12³⁰ : 15⁰⁰



MEETING ID: 864 0525 7292

PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Investigation Of The Voltammetric Behavior Of Hydroquinone Using A Chrysin Modified Pencil Graphite Electrode	Yousra BASHIR FATHALRHMAN ALTAYEB Şeyma KORKMAZ Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU	Necmettin Erbakan University TÜRKİYE
Investigation Of The Voltammetric Behavior Of Serotonin Using Adenin Modified Pencil Graphite Electrode	Şeyma KORKMAZ Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU	Necmettin Erbakan University TÜRKİYE
Investigation Of The Determination Of Vanillin Using A 2-Amino- 3-Hydroxypyridine-Modified Glassy Carbon Electrode	Aysel RUSTEMOVA Şeyma KORKMAZ Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU	Necmettin Erbakan University TÜRKİYE
Determination Of Paracetamol Using A Piperazine-Modified Glassy Carbon Electrode	Shabnam ALIYEVA Aysel RUSTAMOVA Şeyma KORKMAZ Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU	Necmettin Erbakan University TÜRKİYE
Evaluation Of The Effects Of Different Calcium Sources On Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation	Assoc. Prof. Dr. Ecen UZUN YAYLACI	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Structural Analysis-Based Design Optimization And Material Comparison Of Auxetic Cellular Structures	Tarık ÖZDEMİR	Nurol Makine TÜRKİYE
A Study On The Interaction Between Term Weighting And Queries In Information Retrieval	Assist. Prof. Dr. İlker KOCABAŞ Nilay AKDEMİR	Ege University TÜRKİYE
The Mutual Information-Based Network Structure Of Liquidity Dependence In Borsa Istanbul	Assist.Prof.Dr.Serkan ALKAN	Tarsus University TÜRKİYE
Nature's Molecular Hackers: Plant Compounds That Hijack Human Cellular Pathways	Ravana GULIYEVA Nigar ALIYEVA, PhD Shahsanam SAFAROVA Sevinc AMIRASLANOVA Narmin MAMMADOVA Milana AKİFLİ	Baku State University AZERBAYCAN Basic Medical College AZERBAYCAN Khazar University AZERBAYCAN
The Paradox Of Modern Education: More Information, Less Understanding?	Ravana GULIYEVA Nigar ALIYEVA, PhD Firuza MAHARRAMOVA Elnara MAMMADOVA	Baku State University AZERBAYCAN Azerbaijan State Pedagogical University AZERBAYCAN

24.08.2026 / Hall-11, Session-4

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	12³⁰ : 14³⁰		PASSCODE: 538563

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

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Sources Of Sira Writing In The Ottoman Press During The Reign Of Abdülhamid II: The Case Of The Tercümân-I Hakikat Newspaper	Ferda OKUYAN Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	Yalova University TÜRKİYE
An Examination Of Muhammed Yusuf Kandehlevi's Work, Hayatüs's Sahabe, From A Values Perspective.	Lect.SümeYra MAKAL	Bülent Ecevit University TÜRKİYE
The Possibility Of Truthful Report In The Age Of Deepfakes: Reconsidering Kalâm Epistemology In Relation To Digital Information Problems	Lect.Dr. Enes ER	Ondokuz Mayıs University TÜRKİYE
The Hegemonic Role Of Sustainability: Urban Sprawl In The Context Of Neoliberal Urbanization	Res.Assist.Ahsen Begüm ALTUNTAŞ	Afyon Kocatepe University TÜRKİYE
Silver Migration And Urban Alienation: Local Perceptions And Spatial Threat Analysis Regarding The Presence Of European Retirees In Alanya	Assist.Prof.Dr.Hurigül EKEN	Selçuk University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-12, Session-4

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	12³⁰ : 14³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr.Tolgay DURMUŞ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Assessments On Food Quality, Safety And Security	Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI Assist. Prof. Dr. Bilgehan POLATOĞLU	Atatürk University TÜRKİYE
Whey: Composition, Functions, And Evaluation	Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI	Atatürk University TÜRKİYE
Rf-Controlled Feedback Crane Prototype Design	Cengizhan DEDE Prof. Dr. Ercan YALDIZ	Konya Technical University TÜRKİYE
Assessment Of Wind Effects On A 10-Story Building With An Octagonal Plan Geometry Using Code-Based And Cfd Analyses	Mai ALARJAH Assist. Prof. Dr. Mehmet Fethi ERTENLİ Asst. Prof. Dr. Mehmet Haşim KISA	Karabük University TÜRKİYE
A Bibliometric Analysis Of Studies On Cinema And Artificial Intelligence In Turkey	Assist. Prof. Dr.Tolgay DURMUŞ	İnönü University TÜRKİYE
Digital Transformation In Tax Auditing	İsmail Server HAYDAROĞLU Assist. Prof. Dr.Zehra ÇUBUKCU	Selçuk University TÜRKİYE
Quotient Nobusawa Gamma Nearness Rings	Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali ÖZTÜRK Ali YÜKSEK	Adıyaman University TÜRKİYE
Prime -Nearness Ideals Of Nobusawa Gamma Nearness Rings	Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali ÖZTÜRK Ali YÜKSEK	Adıyaman University TÜRKİYE
An Investigation Into The Relationship Between Food Supply Chain And Food Waste In Food And Beverage Enterprises: The Case Of Niğde Province	Assoc.Prof. Dr. Ebru KEMER Nisa AYDEMİR	Niğde Ömer Halisdemir University TÜRKİYE
Awareness Of The Pre-Service Science Teachers Regarding The Sparing Use Of Water In Daily Life For A Sustainable Future	Assoc. Prof. Dr. Gonca HARMAN Dr. Nisa YENİKALAYCI	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE

24.08.2026 / Hall-13, Session-4

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	12³⁰ : 14³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Oğuzhan YÜKSEL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Physiological And Molecular Responses Of Plants To Drought Stress	Assist. Prof. Dr.Berna BAŞ	Gaziantep University TÜRKİYE
The Role Of Wrky Transcription Factors In Drought Stress	Assist. Prof. Dr.Berna BAŞ	Gaziantep University TÜRKİYE
An Analysis Of Leisure-Time Barriers Among Foreign Students Enrolled At Universities In Relation To Various Variables	Moath Fuad Mahmoud MALKAWI Prof. Dr. Oğuzhan YÜKSEL Gökay KONUK	Kütahya Dumlupınar University TÜRKİYE
An Analysis Of Problem-Solving And Career Planning Processes Among Students Enrolled In The Faculty Of Sports Sciences (The Case Of Kütahya Province)	Novruz ABUZARLI Prof. Dr. Oğuzhan YÜKSEL Prof. Dr. Hakan KARA	Kütahya Dumlupınar University TÜRKİYE
Gastrointestinal Histology And Dietary Adaptations Of Falco Tinnunculus As A Carnivorous Raptor	Assist. Prof. Dr. Hatice YAREN KULOĞLU	Aksaray University TÜRKİYE
Hepatic Histology In Songbirds And Birds Of Prey: A Comparative Investigation Focused On The Eurasian Goldfinch (Carduelis Carduelis) And Saker Falcon (Falco Cherrug)	Assist. Prof. Dr. Hatice YAREN KULOĞLU	Aksaray University TÜRKİYE
An Investigation Of Mosfet Power Losses	Bahadır GÜVEN	ME-GE Teknik TÜRKİYE



24.08.2026 / Hall-14, Session-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13⁰⁰ : 15⁰⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Dr. Jean-Roitinos AISSI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Smart Campus Management: Iot, Automation, And Intelligent Infrastructure In Education	Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Yewande Adeyosola ODUNAYO	Lagos State University of Education NIGERIA
Scientific Discourse On The Pharmacological Properties And Therapeutic Effectiveness Of Geomin Forte In The Treatment Of Covid-19: An Integrated Mechanistic, Molecular, Clinical And Evidence-Based Assessment	Nodar Sulashvili Marina Giorgobiani Nana Gorgaslidze Vira Kravchenko Olga Shapoval Igor Seniuk	Tbilisi State Medical University (TSMU)
Extensive Multisite Luminal B-Type Breast Malignancy With Dissemination To Visceral Organs, The Skeletal System, And The Central Nervous System: Challenges In Clinical Recognition And Diagnostic Evaluation, Integrated Multimodal Imaging Assessment, And Individualized Management Through Cdk4/6 Inhibition, Endocrine Therapy, And Systemic Pharmacological Strategies	Nodar Sulashvili , Maka Buleishvili , Marina Giorgobiani, Nana Gorgaslidze ,Ada (Adel) Tadevosyan ,Vira Kravchenko , Marika Sulashvili , Olga Shapoval , Teimuraz Enukidze , Mariam Jikidze, Igor Seniuk , David Aphkhazava	Tbilisi State Medical University (TSMU)
Role Of Tumor Necrosis Factor-Alpha (Tnf-A) In The Pathogenesis Of Rheumatoid Arthritis	Tasawar Iqbal Sidra Altaf	University of Agriculture PAKISTAN
Thyroid Hormone Levels And Their Association With Plasma Zinc Levels Among Adolescent Afghan Refugees; A Cross-Sectional Study	Dr Saima Shaheen Dr Nabila Sher Dr. Kalsoom Tariq	Khyber Girls Medical College,
Contribution Of Hygiene And Sanitation To The Quality Of Hotel Services For The Development Of Tourism In Benin: The Case Of Miracle Hotel, Dassa-Zoume	Dr. Jean-Roitinos AISSI	University of Abomey-Calavi
Transforming Teaching: Promoting Critical Thinking And Civic Values Through Active Learning	Dr. Zenel Sina Dr. Adriana Qafa	“Aleksandër Moisiu” University ALBANIA “Barleti” University ALBANIA
Cybersecurity In An Interconnected World	S. DHARANI DR. S. SELVAM	S. Vellaichamy Nadar College INDIA
Digital Gatekeepers: How Ai Controls Job	M. Dhinesh kumar DR.S. SELVAM	S. Vellaichamy Nadar College INDIA

24.08.2026 / Hall-15, Session-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13⁰⁰ : 15⁰⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof Dr Mohammed Waheeb

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Alpha-2 Agonists As Sole Analgesics In Dogs And Cats: When Clinical Reality Meets Pharmacological Myth	Sakineh Khanamani Falahatipour Motahareh Soltani Zahra Hallajian	University of Tehran IRAN Rafsanjan University IRAN
Monumental Events At The Site Of The Baptism Of Jesus Christ The Historical And Archaeological Significance Of The Site Of The Baptism Of Jesus Christ (Al-Maghtas) On The East Bank Of The Jordan River	Prof Dr Mohammed Waheeb	The Hashemite University JORDAN
The Interplay Of Topography And Military Strategy: An Analysis Of The Expeditions Of Dhat Atlah And Abna In The Jordan Region	Prof Dr Mohammed Waheeb Ishaq Eyal Salman AL Saudi	The Hashemite University JORDAN
From Glycemic Control To Cardiovascular Protection: A Narrative Review Of GLP-1 Receptor Agonists Potential In Canine And Feline Medicine	Sakineh Khanamani Falahatipour Atefeh Heidar Ammameh	University of Tehran IRAN
Workforce Management In Resource-Constrained Educational Contexts: Challenges And Strategies In Vietnamese Public Schools	Dang Thi Thu An Trieu Thi Thuy Hang Nguyen Thi Ngoc Tinh Nguyen Thi Nguyen Tran Pham Hoang Ngoc Tram Ta Yen Vi Dr. Thai Cong Dan	School of Foreign Languages VIETNAM
Dialogue Mapping For Transformative Learning: A Cognitive-Interpretive Framework For Redesigning Higher Education Classrooms	Dr. Arthi T. S. Diva Verma Prajna Loukya Murali	United World Academy INDIA
Natural Lagoon Performance In Reducing Organic Load, Nutrients, And Pathogens From Domestic Wastewater In Arid Morocco	Ahmed Osmane	University Cadi Ayyad MOROCCO
Valorization Of Olive Oil Bioactives Via Immobilization Onto Pozzolan-Alginate Composite Beads	Ahmed Osmane	University Cadi Ayyad MOROCCO
Edge Artificial Intelligence For Smart Manufacturing: Enabling Real-Time Industrial Intelligence And Operational Excellence	MUHAMMAD FAISAL	Ministry of IT &Telecommunication PAKISTAN



24.08.2026 / Hall-16, Session-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13⁰⁰ : 15⁰⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: DR. CHUKWUEMEKA G. EME

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Effects Of Climate Change On Maize Farmers' Production	Salawu M.O Prof. I.S. Umar Dr. Sallahu H.	Federal University of Technology NIGERIA
Influence Marketing Buying And Customer Behaviour Of Automobile Firms In Minna Metropolis, Niger State Nigeria	Adeshina Nike Tosin; Abdulwaheed Dauda (Ph.D) Ochepa A. A. (Ph.D) Rafatu Ozohu ONIMISI	Federal University of Technology NIGERIA
An Appraisal Of Succession Planning In Family-Owned Businesses In Nigeria:Empirical Evidence From Selected Smes In Lagos State, Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)	National Open University NIGERIA
Impact Of Employee Motivation On The Performance Of Manufacturing Firms In Lagos State, Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)	National Open University NIGERIA
Sustainability Strategies In Contemporary Business Management: Integrating Environmental, Social, And Governance (ESG) Principles In Corporate Planning	DR CHUKWUEMEKA G. EME MR MOHAMMED BAPPAH	National Open University NIGERIA
Climate Change And Its Effects On The Socio-Economic Development Of Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA GODSON EME, PhD	National Open University NIGERIA
Food Insecurity In Nigeria: An Analysis Of The Impact Of Climate Change,Economic Development And Conflict On Food Security	DR. CHUKWUEMEKA G. EME	National Open University NIGERIA
Taxing The Rich: An Advantage To Close Poverty Or A Threatening Environment To Entrepreneurs?	Saifan Hassan Chatresh Danyl Rishit Srivastava	United World Academy



24.08.2026 / Hall-17, Session-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13⁰⁰ : 15⁰⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Dr. Iram Liaqat

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Forty Years Of Landsat And Sentinel-2 Retrospective Analysis Reveal A Species-Differentiated Dieback Signal In The Atlas Forests Of Béni Mellal-Khénifra (Morocco)	Yacine Laidi Nawfel El Bouchti	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Water Ressource Mangement In The Context Of Climate Change : Study Of The Marrakech Region	Ahmed Osmane Fatima Bouhlal	Agadir University MOROCCO Cadi Ayyad University MOROCCO
Water Resource Management Under Climate Stress: Evidence From The Marrakech Region Health And Agronomic Implications Of Irrigating Wheat And Barley	Ahmed Osmane Fatima Bouhlal	Agadir University MOROCCO Cadi Ayyad University MOROCCO
Agentic Ai For Personalized Learning And Intelligent Instructional Management: Advancing Smart Educational Leadership In The Digital Age	Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Christiana Toyin ODUWOLE Adebayo Samuel ADEOGUN	Lagos State University NIGERIA
Magnetocaloric Effect, Structural, Magnetic And Electronic Properties Of High-Entropy Alloys $\text{AlCo}_x\text{Cr}_{1-x}\text{FeNi}$: First-Principles Calculations And Monte Carlo Simulations	A. Abjaou R. Masrour	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Novel Thiophene-1,3,4-Oxadiazole-Carbamothioate Hybrids As Multi-Target Anticancer Agents Against Lung Cancer: Synthesis, SAR Analysis, And Molecular Docking Studies	Samreen Gul Khan Zainib Razzaq	Government College University PAKISTAN
Inhibitory Efficacy Of Honey Against Multispecies Bacterial Biofilm	Dr. Iram Liaqat	Government College University PAKISTAN



24.08.2026 / Hall-18 Session-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13⁰⁰ : 15⁰⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufan

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Artificial Intelligence And Its Role In Combating Poverty: Opportunities, Challenges And Prospects For Sustainable Development	PhD Roxana Mihaela Moisoiu	U.S.P.E.E. „C. Stere” Chişinău, Moldova
Comparative Study Of The Phytochemical Composition Of Fumaria Parviflora From Casablanca, El Jadida And Khouribga Of Morocco	Salma MAKDOUF Karima El Bouqdaoui Abdelhakim El Makssoudi Mounia Cherki	Hassan II University MOROCCO
Evaluation Of Leed Certification Potential For Built Environment Pedagogy At Undergraduate Level In Pakistan. Case For Architecture & Design Domains.	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Prof. Dr. M. Asad Ghufan Faizan Ali Nazia Iftakhar Hafiz M. Ahmed Nadeem	University of Management and Technology PAKISTAN
Unveiling The Green Impact: Comparing LEED-Certified And Traditional Libraries In Pakistan’S With End User Satisfaction Through Environmental Design Insights.	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Ar. Nazia Iftakhar Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufan Ar. Jamshaid Khan	University of Management and Technology PAKISTAN
Medication Adherence Among Patients With Type 2 Diabetes: Findings From A Multicenter Study In Morocco	Maryem ARRAJI	Hassan First University MOROCCO
Quality Assessment Of Treated Water From Brewing	Okechukwu, C.O. Tawariwei, M. A.	Federal Polytechnic Ekowe, Yenagoa NIGERIA
Mobility Transitions, Diaspora Return And Circulatory Living Between Albania, Greece And North Macedonia	MARCELA MELE HERMIS MELE	University Aleksandër Moisiu of Durrës ALBANIA
Computational Insights Into Novel Organic Photosensitizers For Dye-Sensitized Solar Cell Applications	El mostafa Benharaf Ali Barhoumi Ahmed Moufti Mohamed Taoufik Mohammed Chafi Abdellah Zeroual Mohammed El idrissi	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO Hassan II University MOROCCO Chouaib Doukkali University MOROCCO
Self-Regulated Learning Strategies And Academic Performance Among Computer Science Students	Wasiu Olatunde OLADAPO	Lagos State University NIGERIA

24.08.2026 / Hall-19, Session-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13⁰⁰ : 15⁰⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Deilton RIBEIRO BRASIL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
From AI-Driven Marketing To Phygital Customer Experience: How Generative AI Redefines The Customer Journey	Dr.Samir MERADI	Djillali Liabes University ALBANIA
Comparative Evaluation Of C:N Ratios For Date Palm Waste Composting In A Low-Cost Rotary Drum Bioreactor	Abdelouahad Ouali Abderrazak Mabrouki Youcef Ouzani Houda Boutalbi Fatima Bouhlal Djamila Madani Chafia Tir	Mohamed Boudiaf University of M'Sila ALGERIA
Machine Intelligence For Microbiome Dna Profiling And Personalized Diet Therapeutics	Moses Adeolu AGOI Success Eniola OGBOYE Samuel Olayiwola AJAGA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	Lagos State University NIGERIA
Diaspora Knowledge Transfer Models For Acceleration Of National AI Capabilities	MUHAMMAD FAISAL	Joint Director (AICU) at Ministry of IT & Telecommunication, Pakistan University of Itaúna (UIT)
The Right To Care For Older Persons As A Fundamental Right: Anti-Ageism And Comprehensive Protection Pursuant To Brazilian Laws No. 15,069/2024 And No. 10,741/2003	Prof. Dr. Deilton RIBEIRO BRASIL	
Turkic Amazons As A Model Of Social Justice: Reconstructing Meaning In The Chuvash Linguistic And Folklore Tradition	Elizaveta N. Dolgova	Chuvash State University RUSSIA
Assessment Of The Mechanical And Environmental Performance Of Eco-Binders For The Treatment Of Onshore Oil Drilling Cuttings By Stabilisation/Solidification	Dr. Yousra ZIANE Dr. Ouahiba Hadjam Pr. Ouahida BENSEBIA	Universty of Sciences and Technology Houar i Boumediene ALGERIA
Extrapolation Of Drug Doses In Exotic And Zoo Animals: A Critical Review Of Current Practices And The Urgent Need For Evidence-Based Approaches	Sakineh Khanamani Falahatipour Soudeh Khanamani Falahati-Pour Motahareh Soltani Zahra Roshani	University of Tehran IRAN
Structural Characterizations and Homomorphic Properties of Soft Left Almost Semirings	Muhammad Shoaib	Kohat University PAKISTAN

24.08.2026 / Hall-20, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Prof. dr. med. Manole COJOCARU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Reshaping Teacher Education: Perceived Role And Effectiveness Of AI	Dr Irfan Bashir, Dr Yasira Waqar Dr Amna Arif, Dr Afshan Naseem Dr Aisha Sami, Dr Almas Shoaib Dr Asma Noman, Dr Ghazala Ishrat Dr Sajid Masood, Dr Amna Yousaf Dr Farhat Munir, Dr Faisal Anees Dr Aqila Rafique	University of Management and Technology PAKISTAN
The Evolution Of Minimum Energy Performance Standards And Energy Labelling In Morocco: Implementation Challenges And Future Perspectives	Chaima MENDOUB Assoc. Prof. Dr. Laila LAASRI	Hassan II University MOROCCO
Energy Efficiency In Moroccan Households: Key Technologies, Policy Measures And Barriers To Wider Adoption	Chaima MENDOUB Assoc. Prof. Dr. Laila LAASRI	Hassan II University MOROCCO
Importance Of Parasitology Control Of Grass On Pastures For The Presence Of Gastrointestinal Strongilidae Larvae	Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ Prof Dr Jovan BOJKOVSKI Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA PhD Vladica MLADENOVIĆ	Faculty of Veterinary Medicine University SERBIA
What We Know About Psoriasis So Far?	Major Gheorghe GIURGIU Prof. dr. med. Manole COJOCARU	Titu Maiorescu University ROMANIA
Overview Of Wordpress Content Management System Applications In Tourism: Theory And Practice	Dr. Nguyen Thi Be Ba Nguyen Huynh Kieu Anh Dr. Thai Cong Dan	Can Tho University (CTU) VIETNAM
The Influence Of Poverty On The Development Of Criminality	PhD Roxana Mihaela Moisoiu	U.S.P.E.E. „C. Stere” Chişinău, Moldova
In Silico Characterization of Hypothetical Proteins of Wuchereria Bancrofti	Waqar Ahmed Nabiha Naeem	University of Management and Technology PAKISTAN



24.08.2026 / Hall-21, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Ali Asghar Firoozi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Health-Informed Civil Engineering For Urban Heat Mitigation: Integrating Pavements, Shade, And Blue-Green Infrastructure In Hot And Dry Cities	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Civil Engineering Control Of Construction And Road Dust For Public Health In Hot, Dry Cities	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Health-Protective Civil Engineering For Intermittent Water Supply: Contamination Pathways, Pressure Management, And Resilient Distribution In Water-Stressed Cities	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Health-Protective Civil Engineering For Damp And Mould-Prone Buildings: Moisture Pathways, Envelope Design, Ventilation, And Indoor Environmental Quality	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Health-Protective Urban Drainage Engineering For Flood-Contamination Risk: Stormwater, Sewer Overflows, Blue- Green Infrastructure, And Public Health	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Health-Protective Civil Engineering For Vulnerable Road Users: Safe-System Speed Management, Crossing Design, And Active-Mobility Infrastructure	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Health-Protective Geotechnical Engineering For Contaminated Soils: Exposure Pathways, Stabilization/Solidification, Capping, And Safe Redevelopment	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA
Health-Protective Seismic Engineering For Hospital Functional Recovery: Structural, Nonstructural, Lifeline, And Clinical Continuity Strategies	Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	University of BOTSWANA National University of MALAYSIA



24.08.2026 / Hall-22, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Dr. Mohammed-Yassine TAKZIMA

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Biotechnological Food Systems And Public Health In Paolo Bacigalupi's The Windup Girl	Gayathri P, Junior Dr.C.Vairavan,	Training Deemed to be University CHENNAI
The Role Of Robotics In Transforming The Automobile Industry: Enhancing Efficiency, Quality, And Safety.	Raghav Sivakumar	United World Academy INDIA
CRISPR-Based Technology As An Environmentally Sustainable Strategy For The Biocontrol Of Important Agricultural Insect Pests	Azorji JohnPaul Nnawuike Chinedu, Igboke Moses Nwachukwu Udodi Chibuike Nzenwa Peter Odinaka Meziobi Thelma Chikerenma	Michael Okpara University "University of Agriculture and Environmental Science NIGERIA" Alvan Ikoku Federal University NIGERIA
Health Professionals' Knowledge Of Medicinal Plant Use For Cutaneous Leishmaniasis In Marrakech-Safi Region, Morocco	Dr. Mohammed-Yassine TAKZIMA Mohamed Echchakery Mohamed Hafidi Loubna El Fels	Cadi Ayyad University MOROCCO Hassan Premier University MOROCCO
Acacia Tortilis Ssp. Raddiana: Early Therapeutic Effects In Pulmonary Fibrosis	Lansine Diakité Abdeljalil Elmahdaoui Mohamed El Hassan Bouchari Fatima-ezzahra Derdar Abdelilah Meddich Zineb Lachhab Zahra Sokar	Cadi Ayyad University MOROCCO Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
The Impact Of Government Health Expenditure On Economic Growth In Nigeria. 1981 – 2022)	Ebenezer Akinniyi AKINYEMI Kehinde Timothy AKANGBE	Ladoke Akintola University NIGERIA
Structural Equation Modeling Of The Relationships Between Stress,Burnout, And Depression	Fatima Bouizzal	Ibn Tofail University MOROCCO

24.08.2026 / Hall-23, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Dr.Samir MERADI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Evaluation Of The Phenolic Potential And Antimicrobial Activity Of Wild And Cultivated Carob Tree (Ceratonia Siliqua L.) Leaves	Oussama SMAILI Wafa YAHIAOUI Hana KAZOULA Nadjiba CHABOUTI	Avenue Hassan Badi-El Harrach ALGERIA Boumerdes University ALGERIA
Assessment Of Kaolin As An Eco-Friendly Partial Alternative To Titanium Dioxide In Decorative Paints	Zubairu Umar Muazu Abdullahi Yahaya Kazeem Ibraheem Ajadi Adebiyi Aliu Gbolahan Chindo Aisha Abdullah	Ahmadu Bello University NIGERIA
Inappropriate Diagnostic Imaging Requests: Causes, Consequences, And Strategies For Improvement: A Narrative Review	Mohammed Danyaro Rilwanu Muhammad Abdullahi Jega	Federal Teaching Hospital NIGERIA
Isoquinoline Derivatives From 1,3-Dipolar Cycloadditions: A DFT And Docking Approach Toward Alzheimer's And Parkinson's Treatment	Elorchi Soukaina Abdoul-Hakim El alaoui el abdallaoui Habib Mimoun Belhadi Mohammed Chafi Mohammed Salah	Chouaib Doukkali University MOROCCO Hassan II University MOROCCO
An Electronic Logbook System For Student Industrial Training: Design, Implementation, And User Evaluation	Idris Memunat Iyetunde Akanbi, Bello Muhammed PhD	University of Abuja NIGERIA
Neuroprotective Mechanism Of Ethanolic Leaf Extract Of Brassica Oleracea L. Var Acephala In Arsenic-Induced Frontal Cortical Degeneration.	AIKPITANYI IKPONMWOSA IYERE TOMBRAJE BLESSED IGBAYILOLA YUSUFF DIMEJI	Igbinedion University NIGERIA
Chronic Stress And Inflammation: The Neuroimmune Axis As A Mechanism Of Transition To Depression	Fatima Bouizzal	Ibn Tofail University MOROCCO
Underfunding Human Potential: A Study Of Health, Education, And Sustainable Development In Nigeria	Lovette German Mohammed	Federal University NIGERIA
Generative Ai And Patient Experience In Digital Health Services: Toward Human-Centered Healthcare Marketing	Dr.Samir MERADI	Djillali Liabes University ALGERIA



24.08.2026 / Hall-24, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Wilson, I. U.

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
From Sonar To Sensors: Harnessing AI To Decode Hydrobiological Signals For A Thriving Ocean Decade	Wilson, I. U.	Akwa Ibom State Polytechnic NIGERIA
Preparation Of Duolite A171 Resin-Chitosan Composite For The Removal Of Nitrate From Aqueous Medium	P. Mareeswari S. Anu Ratthika A.V. Rubeena R. Thulasiraman S. Meenakshi	Deemed to be University INDIA
Rapid Capture And Reduction Of Hexavalent Chromium Ions From Aqueous Solution Using Mn-PDC MOF-Loaded Chitosan Composite	S. Anu Ratthika P. Mareeswari S. Meenakshi	Deemed to be University INDIA
A Multifunctional Green Nanoplatfrom For Dental Biofilm Control	Monisha S Ranjani Soundhararajan	B.S. Abdur Rahman Crescent Institute of Science and Technology INDIA
Use Of Artificial Intelligence For Medication Adherence Assessment In Patients With Type 2 Diabetes: An Exploratory Study In Morocco Using Chatgpt And The Validated General Medication Adherence Scale	Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	Hassan First University MOROCCO Mohammed VI University MOROCCO
Evaluation Of Renewable Energy Pathways For Bangladesh Based On A Multi-Dimensional Analysis Of Institutional Energy Demand Vis-À-Vis Socio-Economic Indicators And Income Level	Md. Mahamudur Rahman Papon Dr. Nilima Islam Md. Golam Rasul Mohammad Rashe Dun Nabi Md. Sarwath Hussain Bhuiyan Fahad Rahul	American East Coast University BANGLADESH
Antimicrobial Resistance In Animal Production: Mechanisms, Selective Pressures, And Mitigation Strategies Within The One Health Framework	Oussama Mahmoudi	Mohamed-Cherif Messaadia University ALGERIA
Epidemiology And Molecular Characterization Of Eimeria Species Infecting Poultry In Selected Districts Of Central Punjab, Pakistan	Sundas Afresham	University of Agriculture PAKISTAN
Compost Based Electrochemical Energy Storage	Poonam Dr. Sunil Kumar	Indira Gandhi University INDIA
Ultra-Processed Foods and the Erosion of Traditional Dietary Patterns in Morocco:Implications for Nutrition Transition and Public Health	Sanaa El-Jamal, Houda Elfane, Imane Barakat, Rehia Belahsen	Chouaib Doukkali University MOROCCO
Study of Plasma Behaviour in Tokamaks: Hydrodynamic and Magnetic Effects	Eddari Ayoub	Université Hassan II de Casablanca FAS



24.08.2026 / Hall-25, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Dr. Robraw ANN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Cambodian Primary School Teachers' Attitudes Toward Teaching And Learning Inspection: A Study In Kampong Thom Province	Dr. Robraw ANN	National Institute of Education Phnom Penh, Cambodia
Nanotechnology-Based Drug Delivery Systems For Breast Cancer Therapy: Advances And Future Perspectives	Maroua RIAD Ahmad AL-SHAMI, Jamal MABROUKI	Mohammed V University MOROCCO
Ai-Powered Healthcare: Transforming Disease Detection	F.Joshwa Santhosh P.Abinash Dr. S. Selvam	Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College INDIA
Gamification In Everyday Life: Transforming Routine Activities Into Engaging Experiences	B.Madhan kumar N.Santhosh Dr. S. Selvam	Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College INDIA
Unlocking Birdwatching Potentials for Ecotourism in T. A. Afolayan Wildlife Park: Visitors' perspectives, opportunities and constraints	Adetola, B. O. Orimaye J. O Ayodele O. C.	National Open University NIGERIA
Bacterial Profile And Antimicrobial Susceptibility Patterns Of Wound Infections In A Secondary Healthcare Facility In Northwestern Nigeria	Shamsuddeen Ahmad Kele Bashar Haruna Gulumbe Gadafi Nasir Abdulkareem T. Zakari Abdullahi Dauda Haliru Abdullahi Someone Mercy Adams Abdul'azeez Muhammad Mahuta	Federal University NIGERIA University of Ilorin NIGERIA Ahmad Patigi University NIGERIA
Effect Of Gamified Simulation Instructional Package On Junior Secondary Two Students' Motivation In Mathematics In Jalingo, Taraba State, Nigeria	Joseph Joshua Bernadette E. Ozoji Michael S. Abifarin	University of Jos NIGERIA
Phytochemicals Screening And Antioxidant Activity Of Fresh And Aged Garlic Extracts	Hafsat Nasir Nayaya , Ibrahim Hamza kankia , Aliyu Ibrahim Yar'adua , Ahmad Sulaiman Musa , Abdulmajid Bashir	Al-Qalam University NIGERIA Umaru Musa Yar'adua University NIGERIA
Effects Of Zoom-Teaching Mode On Junior Secondary Two Students' Attitude Towards Basic Science And Technology In Jos South, Plateau State, Nigeria	Gongden Esther Ephraim, Abifarin S. Micheal Ozoji E. Bernadette	University of Jos NIGERIA
Machine Learning For Automated Early Detection Of Alzheimer's Disease Using Multimodal Brain Imaging Data	A. Sivagayathri, R. Srividhya, A. Vivekanandhan, Dr. R. Sudha	AVC College of Engineering INDIA
Effect Of Aspergillus Niger Fermentation On Anti-Nutritional Factors Of Millet (Pennisetum Glaucum) Stalk	Maryam Halliru Idris , Aliyu Ibrahim Yaradua , Hadiza Kabir Matazu, Hafsat Nasir Nayaya	Umaru Musa Yar'adua University NIGERIA

24.08.2026 / Hall-26, Session-6

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 864 0525 7292
	13³⁰ : 15³⁰		PASSCODE: 538563

HEAD OF SESSION: Dr. Akanbi Bello Mohammed

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Corrosion Protection Performance Of Bambusa Vulgaris Extract For Mild Steel In 1M H ₂ SO ₄ . Medium.	ESAN , T. O. Pii , B . T Ajibulu . K. E Adebayo L .O	Bamidele Olumilua University NIGERIA
The Impact Of Lecture Transcription And Search Systems On Academic Information Retrieval In Tertiary Institutions.	Alozie Victoria Chika Akanbi,Bello Muhammed PhD	University of Abuja NIGERIA
Arene Ligand Engineering In Chromium Half-Sandwich Complexes Toward Enhanced Dye-Sensitized Solar Cell Performance	Said Kerraj , Mohamed elmamouni Mohamed Moussaoui	Hassan II University MOROCCO
A Multifunctional Green Nanoplatform For Dental Biofilm Control	Monisha S and Ranjani Soundhararajan	B.S. Abdur Rahman Crescent Institute of Science and Technology IDNIA
Nutritional And Anti-Nutritional Evaluation Of Locally Formulated Complementary Foods From Millet, Soybean, Groundnut And Sorghum For Enhanced Infant Nutrition	Ahmad Sulaiman Musa Rukayya Gambo Lawal, Dr. A.I. Yar'adua Dr. Akilu Abdullahi Sada, Dr. Aminu Usman Dr. Zainab Suleiman ¹	Umaru Musa Yar'adua University NIGERIA
Artificial Intelligence For Cancer Diagnosis And Prognosis	Sanjida Nousin , Rafsun Rahman , Md Norim Bhuyan , Md Nasir Uddin , Sajib Hasan	St. Francis College USA Jahangir Nagar University BANGLADESH
Artificial Intelligence In Clinical Practice And Its Future Perspectives	ESAN T. O. Pii , B . T Ajibulu . K. E Adebayo L .O	St. Francis College USA Jahangir Nagar University BANGLADESH
Automating Healthcare Delivery: The Implementation Of A Digital Health Record And Patient Management System For University Health Centres	Asun David Great Dr. Akanbi Bello Mohammed	UNIVERSITY OF ABUJA FACULTY OF SCIENCE DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE
Artificial Intelligence And Its Impact On Business And Society	Md Iqbal Hossain , Md Bani Amin , Aspiya Akter Rakib Ul Hasan	St. Francis College USA Jahangir Nagar University BANGLADESH
Integrating Differentiation And Integration Of Paraletrix With Blockchain Technology: Theoretical Foundations And Practical Frameworks	Abbas Saleh BAILEY Domwen Lohcwat Daniel Danladi Monsur Morawo Bailey Saleh	Karl Kumm University NIGERIA University of Maiduguri NIGERIA
Survival And Sustainability Of Small-Scale Retailers – A Study With Special Reference To Kerela.	ROBIN THARIAN	Department Of Pg And Research Department Of Commerce Thiagarajar College INDIA

PHOTO GALLERY

zoom Workplace

Toplantı

hall-1 -EBRU KURTULBAŞ ŞAHİN

REC

02 - COMPLEMENTARY PLATFORMS

Supramolecular Solvents (SUPRAS)

Self-Organization and Selectivity

A nanostructured, water-separable liquid phase formed by the coacervation of amphiphilic building blocks. The determining parameter is not hydrogen-bond strength, but the amphiphile aggregation geometry and the external conditions that trigger it (pH, temperature, strength).

Strengths

- Nanostructure optimizable to the analyte class → high selectivity
- Small coacervate-phase volume → strong pre-concentration capacity
- Microextraction formats compatible with DLLME and chromatographic analysis

Constraints

- Phase behavior is highly sensitive to external parameters
- Small deviations → reproducibility issues
- Reliability is challenged in complex matrices with high lipid/fiber content

ISARC Beyza KUŞKIRAN

ISARC Beyza KUŞKIRAN

hall-1 -EBRU KURTULBAŞ ŞAHİN

HALL-1-Rabia Nur Bozkurt

HALL-1, Prof. Dr. Selin Şahin Sevil

Ses Video Katılımcılar Sohbet Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Ara odalar Daha fazla Odadan çık

zoom Workplace

Toplantı

Hall-2 Hatice ŞİMŞEK adlı kişinin

REC

makale sunumu_06082026.pptx - PowerPoint

Murat ŞİMŞEK (Bilgi Teknolojileri)

Ara

Dosya Giriş Ekle Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Gözden Geçir Görünüm Kayıt Yardım

Yeni Slayt Sıfırla Bölüm

Pano Slaytlar

Yazı Tipi Paragraf Çizim Düzenleme

Kullanılan Algoritmalar

Random Forest (RF)

- Birden fazla karar ağacının oluşturulması ve bu ağaçların sonuçlarının birleştirilmesi prensibine dayanan topluluk (ensemble) öğrenme yöntemlerinden biridir.
- Eğitim veri setinden rastgele örnekler seçerek her biri farklı alt veri kümeleriyle eğitilen çok sayıda karar ağacı oluşturur.
- Nihai tahmin, regresyon problemlerinde ağaçların ortalaması, sınıflandırma problemlerinde ise çoğunluk oyu ile belirlenir.

Optimize edilen hiperparametreler

Hiperparametre	Optimum Ortalama Değer
n_estimators	198
max_depth	20
min_samples_split	15
min_samples_leaf	6

ISARC Beyza KUŞKIRAN

ISARC Beyza KUŞKIRAN

Ali DEBREH-2

Ali DEBREH-2

Hall-2 Hatice ŞİMŞEK

Hall-2 Hatice ŞİMŞEK

hasan uez H-2

Ses Video Katılımcılar Sohbet Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Ara odalar Daha fazla Odadan çık

PHOTO GALLERY

zoom Workplace

H3 Hall 3- DİLEK AYKAN TANTUNÇ a

GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT

Riyolitik volkanik kayaç veya obsidyenin suyla temasıyla doğal olarak oluşan hafif, gözenekli volkanik cam cevher %2-6 oranında bağlı su içerir; 760-1200 °C aralığında hızlı ısıtma işlemiyle bu su buharlaşarak malzemeyi genişletir ve hücresel, bal peteği benzeri bir yapı oluşturur.

 25-400 kg/m³ Çok düşük gevşek yığın yoğunluğu	 0,034-0,06 W/mK Son derece düşük ısı iletkenlik	 A Sınıfı Yangın dayanımı	 Kimyasa + Ses yalıtımı
---	--	---	---

ISARC Beyza KU...

ISARC Beyza KUŞKIRAN

Hall-3, M. Bahaddin Fırat

Hall 3- DİLEK AYKAN-TANTUNÇ

Hall-3, Baycan MOR

Ses Video Katılımcılar Sohbet Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Ara odalar Daha fazla Odadan çık

zoom Workplace

Aslihan Sumer Hall 5 adlı kişinin e

ISarc kongre sunum

KÜRESEL KANSER YÜKÜ

- Kanser, yalnızca bireysel bir sağlık sorunu değil; **uzun süreli tedavi gereksinimi ve sağlık sistemleri üzerindeki ekonomik ve sosyal yükü** nedeniyle küresel ölçekte önemli bir halk sağlığı problemidir.
- GLOBOCAN 2022** verilerine göre:
 - 20,0 milyon yeni kanser vakası
 - 9,7 milyon kansere bağlı ölüm
 - 53,5 milyon kişi, son 5 yıl içinde kanser tanısı almış olarak yaşamaktadır.
- Yaşam boyunca yaklaşık **her 5 kişiden 1'i** kansere yakalanmaktadır.
- Kansere bağlı yaşam boyu ölüm riski yaklaşık:
 - Erkeklerde: 1/9
 - Kadınlarda: 1/12
- Küresel kanser yükünün **2050 yılına kadar artması** beklenmektedir:
 - 35 milyondan fazla yeni vaka
- Bu nedenle özellikle **ileri evre ve derin yerleşimli tümörler** için daha etkili, hedeflenmiş ve yenilikçi tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi önemini korumaktadır.
- **Yeni nesil tedavi yaklaşımlarına duyulan ihtiyaç** giderek artmaktadır.

20.0M 35.3M

ASLIHAN SUMER HALL 5

Nadiye Barış EREN

Muhammed Ka... Muhammed Kamiloğlu

Slide 2 of 13 English (United States)

Ses Video Katılımcılar Sohbet Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Ara odalar Daha fazla Odadan çık

PHOTO GALLERY

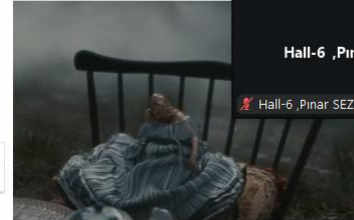
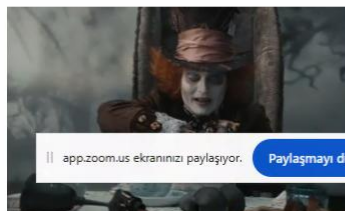
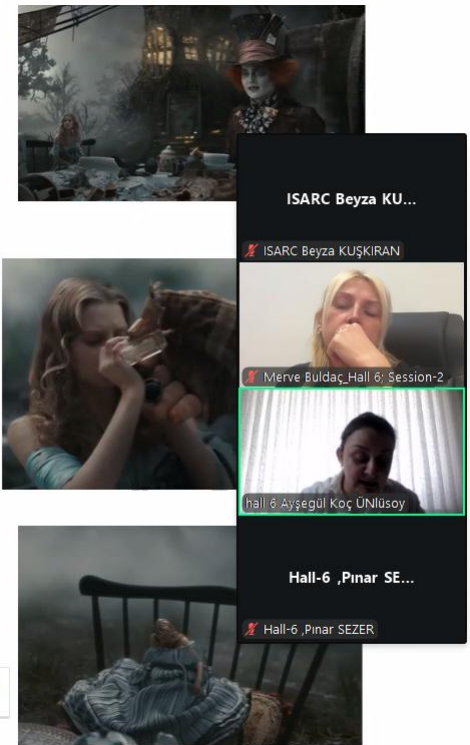


PHOTO GALLERY

selçuk.kongre.balat.pdf x SELÇUK_KONGRE_GALATAPORT.p... +

Dosya C:/Users/mert%20sezer/Desktop/konya%20selçuklu%20kongre/SELÇUK_KONGRE_GALATAPORT.pdf

Görsel Kaynak / Image Source: Galataport İstanbul

05 MİRAS VE KAMUSAL YAŞAM

HERITAGE AND PUBLIC LIFE

TARİHİ DEĞER

Tophane Saat Kulesi, Nusretiye Camii ve Kılıç Ali Paşa Külliyesi, bölgenin tarihi kimliğini ve çok katmanlı mirasını yansıtır.

HISTORIC VALUE

Tophane Clock Tower, Nusretiye Mosque and the Kılıç Ali Paşa Complex reflect the historic identity and multilayered heritage of the area.

KAMUSAL KULLANIM

Miras yapıları, kamusal alanlarla bütünleşerek yaşayan, erişilebilir ve paylaşılan mekânlara dönüşmektedir.

PUBLIC USE

Heritage buildings integrate with public spaces, becoming living, accessible and shared places.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Çevresel duyarlılık, iklim uyumu ve kaynak verimliliği kentsel dönüşümün temel ilkeleri arasında yer alır.

SUSTAINABILITY

Environmental sensitivity, climate adaptation and resource efficiency are among the core principles of urban transformation.

TOPLUMSAL HAFIZA

Tarihi miras, kültürel hafızayı güçlendirir ve kentsel aidiyetin oluşmasına katkı sağlar.

COLLECTIVE MEMORY

Historical heritage strengthens cultural memory and contributes to a sense of belonging to the city.

Miras yapılarının çevresindeki kamusal yaşam nasıl korunabilir, desteklenebilir ve gelecek nesillere aktarılabilir?

How can public life around heritage buildings be preserved, supported and

app-zoom.us ekranınızı paylaşıyor. Paylaşmayı durdur Gizle

Görsel Kaynak / Image Source: Galataport İstanbul

28°C Güneşli 10:55 24.08.2026

zoom Workplace

Toplantı gizem yılmaz h-7 adlı kişinin ekranı

Otomatik Kaydetme: Adli dış hekimliği - Bu bilgisayar konumuna kaydedildi

Ara

Dosya Giriş Ekle Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Gözden Geçir Görünüm Kayıt Yardım Araçlar Poll Everywhere

Temalar Çeşitlendir

1 Adli dış hekimliği nedir?

2 Adli dış hekimliği nedir?

3 Adli dış hekimliği nedir?

4 Adli dış hekimliği nedir?

5 Adli dış hekimliği nedir?

6 Adli dış hekimliği nedir?

Adli dış hekimliğinin kapsamı

Dişler; yüksek sıcaklık, travma ve postmortem değişikliklere karşı görece dirençli yapılarıyla kimiklendirmede güçlü bir veri kaynağıdır.

- 01 Kimiklendirme**
Kimliği bilinmeyen bireylerde dental kayıtların karşılaştırılması
- 02 Biyolojik profil**
Yaş ve cinsiyet tahmini gibi temel adli değerlendirmeler
- 03 Kitlesel afetler**
Hızlı, arşivlenebilir ve karşılaştırılabilir dental bulgular

Adli Dış Hekimliği Uygulamaları | Gizem Yılmaz

ISARC Beyza KU...
ISARC Beyza KUŞKIRAN
Hall-6 ,Pınar SE...
Hall-6 ,Pınar SEZER
Merve Buldaç_Hall 6; Session-2

gizem yılmaz h-7

Hall-7 Can Okan...
Hall-7 Can Okan GÜL
Rabia Cicek
Rabia Cicek

7 Katılımcılar Sohbet Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Ara odalar Daha fazla Odadan çık



INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU:KONGRE KATILIMCI BİLGİSİ

05.09.2026

İLGİLİ MAKAMA

10. ULUSLARARASI SELÇUK BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 24-25 AĞUSTOS 2026 tarihleri arasında KONYA'da ve online olarak 20 farklı ülkeden (Türkiye:108 ve diğer Ülkeler:118; Toplam:226 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 yarından 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
Ayşegül KOÇ ÜNLÜSOY	FROM BODY SCALE TO SPATIAL DECODING: THE TRANSFORMATION OF BODY- SPACE RELATIONSHIP IN CINEMA	1-6
Ayşegül KOÇ ÜNLÜSOY	FROM OCULARCENTRISM TO TACTILE SPACE: A PHENOMENOLOGICAL READING OF YOZGAT BOZOK UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING	7-13
Mai ALARJAH Mehmet Fethi ERTENLİ Mehmet Haşim KISA	ASSESSMENT OF WIND EFFECTS ON A 10-STORY BUILDING WITH AN OCTAGONAL PLAN GEOMETRY USING CODE-BASED AND CFD ANALYSES	14-21
Yousra BASHIR FATHALRHMAN ALTAYEB Şeyma KORKMAZ Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU	INVESTIGATION OF THE VOLTAMMETRIC BEHAVIOR OF HYDROQUINONE USING A CHRYSIN MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE	22-28
Şeyma KORKMAZ Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU	INVESTIGATION OF THE VOLTAMMETRIC BEHAVIOR OF SEROTONIN USING ADENIN MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE	29-34
Shabnam ALIYEVA Aysel RUSTAMOVA Şeyma KORKMAZ İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU	DETERMINATION OF PARACETAMOL USING A PIPERAZINE-MODIFIED GLASSY CARBON ELECTRODE	35-42
Aysel RUSTAMOVA Şeyma KORKMAZ Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU	INVESTIGATION OF THE DETERMINATION OF VANILLIN USING A 2-AMINO-3-HYDROXYPYRIDINE-MODIFIED GLASSY CARBON ELECTRODE	43-50
Gonca HARMAN Nisa YENİKALAYCI	AWARENESS OF THE PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS REGARDING THE SPARING USE OF WATER IN DAILY LIFE FOR A SUSTAINABLE FUTURE	51-69
Abdulsamet GÜMLÜCE Uğur KAÇMAZ Yeliz KINDAP TEPE	PARENTAL BURNOUT AMONG PARENTS OF CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER: RISK AND PROTECTIVE FACTORS	70-84
Ecenur KARA Elif ÜNAL Yeliz Kindap TEPE	DIGITAL PARENTING STRATEGIES IN THE PREVENTION OF ADOLESCENT DIGITAL ADDICTION: AN EVALUATION OF THE CURRENT LITERATURE	85-100
Sıla Betül KORKMAZ Rabia Nur BOZKURT Selin ŞAHİN	SUSTAINABLE RECOVERY OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM GRAPEVINE LEAF PETIOLES: A DEEP EUTECTIC SOLVENT-BASED ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION APPROACH	101-116
Ebru KURTULBAŞ ŞAHİN İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ-	BETAINE-BASED DEEP EUTECTIC SOLVENT FOR ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM <i>MORINGA OLEIFERA</i> LEAVES: SCREENING AND RESPONSE SURFACE OPTIMIZATION	117-128
İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ	AUTOMATIC SOLVENT EXTRACTION OF <i>PUNICA GRANATUM</i> L. FLOWERS: OPTIMIZATION OF PHENOLIC AND ANTHOCYANIN CONTENTS AND EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY	129-143
İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ	ROSEHIP SEED EXTRACT-LOADED ALGinate MICROCAPSULES: GASTROINTESTINAL RELEASE, OXIDATIVE STABILITY, CHEMOMETRIC EVALUATION AND CHARACTERIZATION	144-153
Ebru KURTULBAŞ ŞAHİN Selin ŞAHİN SEVGİLİ	HYBRID DEEP EUTECTIC SOLVENT-SUPRAMOLECULAR SOLVENT (DES-SUPRAS) SYSTEMS: AN EMERGING STRATEGY FOR BIOACTIVE COMPOUND EXTRACTION	154-163
Yasemin Tokur İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ	EFFECT OF DIFFERENT SOLVENTS ON THE CHEMICAL PROFILE OF EXTRACTS OBTAINED FROM CEDAR WOOD SAWDUST: A GC-MS	164-174

Yasemin Tokur İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ	AUTOMATIC SOLVENT EXTRACTION FOR RECOVERY OF PHENOLIC SUBSTANCE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY FROM <i>CEDRUS LIBANI</i> WOOD SAWDUST WASTE	175-182
Cengizhan DEDE Ercan YALDIZ	RF-CONTROLLED FEEDBACK CRANE PROTOTYPE DESIGN	183-190
Ferda OKUYAN Esra YILDIZ	SOURCES OF SİRA WRITING IN THE OTTOMAN PRESS DURING THE REIGN OF ABDÜLHAMİD II: THE CASE OF THE TERCÜMÂN-I HAKÎKAT NEWSPAPER	191-199
Hurigül EKEN	SILVER MIGRATION AND URBAN ALIENATION: LOCAL PERCEPTIONS AND SPATIAL THREAT ANALYSIS REGARDING THE PRESENCE OF EUROPEAN RETIREES IN ALANYA	200-214
Kamala ASGOROVA İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ	CENTRAL COMPOSITE DESIGN-BASED OPTIMIZATION OF ULTRASONIC BATH EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM BLACK MULBERRY LEAVES	215-228
Kamala ASGOROVA İrem TOPRAKÇI YÜKSEL Selin ŞAHİN SEVGİLİ	EFFECTIVE EXTRACTION OF PHENOLIC AND ANTIOXIDANT COMPONENTS FROM BLACK MULBERRY (<i>MORUS NIGRA</i>) LEAVES THROUGH MULTIPLE RESPONSE OPTIMIZATION	229-242
Emine OĞUR Emrullah KOCAMAN Hüseyin YAĞLI	THERMODYNAMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ALTERNATIVE FUELS IN A TURBOFAN ENGINE	243-251
Emine OĞUR Emrullah KOCAMAN Hüseyin YAĞLI	ASSESSMENT OF LARGE LANGUAGE MODEL CODE GENERATION PERFORMANCE FOR THERMODYNAMIC CYCLE ANALYSIS IN ENGINEERING EQUATION SOLVER	252-259
İsmet ÜZEN	TRIP OF MANISA TEACHERS TO HATAY (JULY 1939)	260-269
İsmet ÜZEN	IMPRESSIONS OF KONYA BY TEACHERS FROM MANISA (JULY 1939)	270-278
Aslıhan SÜMER	COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF APICAL LIGANDS AND THEIR EFFECTS ON THE RADIOSENSITIZING PROPERTIES OF Mo ₆ I ₈ CLUSTERS	279-285
Yıldız Uçar Muhammed Kamiloğlu Keziban Uçar Karabulut	SEASONAL DISTRIBUTION OF PULMONOLOGY OUTPATIENT VISITS AMONG PATIENTS WITH COPD AND FACTORS ASSOCIATED WITH HOSPITALIZATION	286-297
Rabia DEVECİ PAŞA Didem ÖNAY DERİN	LIFELONG CHANGES IN MUSCLE MASS AND SARCOPENIA	298-302
Rabia DEVECİ PAŞA Didem ÖNAY DERİN	CHRONONUTRITION IN POLYCYSTIC OVARY SYNDROME: AN EVALUATION OF CIRCADIAN RHYTHM, SLEEP, AND METABOLIC HEALTH IN LIGHT OF CURRENT EVIDENCE	303-315
Sıla EKİCİ Semra NAVRUZ VARLI	THE RELATIONSHIP BETWEEN ONLINE FOOD ORDERING ATTITUDE, EATING BEHAVIOR, AND KITCHEN SKILLS	316-325
Merve KOCA Füsün Sunar	THE EFFECT OF L-CITRULLINE AND CAFFEINE INTAKE ON POST-EXERCISE AUTONOMOUS RECOVERY AND NEUROMUSCULAR EFFICIENCY	326-334
Emine CERANOĞLU Füsün Sunar	THE EFFECT OF COMBINED ERGOGENIC AID ON MUSCLE ACTIVATION PATTERNS AND DYNAMIC MUSCLE STRENGTH DURING A BIKE ERGOMETER TEST IN SEDENTARY AND RECREATIVELY ACTIVE YOUTH	335-346
Aslıhan HACISALİHOĞLU	CRITICAL THINKING IN NURSING	347-358
Aslıhan HACISALİHOĞLU	TRANSITION FROM FAMILY-CENTERED CARE TO CHILD- CENTERED CARE IN PEDIATRIC NURSING FROM A PHILOSOPHY OF SCIENCE PERSPECTIVE	359-363
Gülistan UYMAZ Yahya ALTINKAYNAK	THE ROLE OF BIOCHEMICAL BIOMARKERS IN THE ASSESSMENT OF WOUND HEALING	364-370
Gülistan UYMAZ Yahya ALTINKAYNAK	METABOLIC INDICATORS AND CLINICAL IMPLICATIONS IN POSTOPERATIVE MALNUTRITION	371-376
Hatice ŞİMŞEK Zeynep HASIRCI TUĞCU	OPTUNA BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF RANDOM FOREST (RF) VE LIGHT GRADIENT BOOSTING MACHINE (LIGHTGBM) MODELS IN WIND ENERGY FORECASTING	377-388

Pınar SEZER	INTEGRATED USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IMAGE PROCESSING AND NUCLEAR ANALYSIS FOR THE SUSTAINABLE CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE: AN INTERDISCIPLINARY APPROACH	389-397
Pınar SEZER	INVISIBLE GUARDIANS OF SUSTAINABLE CULTURAL HERITAGE: WOMEN'S SPACES AND ORAL HISTORY — THE CASE OF THE BALAT ÇAVUŞ BATHHOUSE, ISTANBUL	398-403
Pınar SEZER	FROM A HISTORIC PORT TO PUBLIC LIFE: SUSTAINABLE URBAN HERITAGE IN TOPHANE THROUGH GALATAPORT, NUSRETIYE MOSQUE AND THE KILIÇ ALI PAŞA COMPLEX	404-412
Tolgay DURMUŞ	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STUDIES ON CINEMA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TURKEY	413-419
Nilay Akdemir İlker KOCABAŞ	A STUDY ON THE INTERACTION BETWEEN TERM WEIGHTING AND QUERIES IN INFORMATION RETRIEVAL	420-432
Songül ÇAKMAKÇI	WHEY: COMPOSITION, FUNCTIONS AND EVALUATION	433-439
Songül ÇAKMAKÇI Bilgehan POLATOĞLU	ASSESSMENTS ON FOOD QUALITY, SAFETY AND SECURITY	440-445
Novruz ABUZARLI Oğuzhan YÜKSEL Hakan KARA	AN ANALYSIS OF PROBLEM-SOLVING AND CAREER PLANNING PROCESSES AMONG STUDENTS ENROLLED IN THE FACULTY OF SPORTS SCIENCES (THE CASE OF KÜTAHYA PROVINCE)	446-469
Moath Fuad Mahmoud MALKAWI Oğuzhan YÜKSEL Gökay KONUK	AN ANALYSIS OF LEISURE-TIME BARRIERS AMONG FOREIGN STUDENTS ENROLLED AT UNIVERSITIES IN RELATION TO VARIOUS VARIABLES	470-489
Özgen Soyöz Özge Kangallı Boyacıoğlu	CLINICAL AND LABORATORY CHARACTERISTICS AND TOLERANCE DEVELOPMENT IN INFANTS WITH COW'S MILK PROTEIN-INDUCED ALLERGIC PROCTOCOLITIS: A SINGLE-CENTER EXPERIENCE	490-499
Derya BEKİROĞLU Nur ÜTKÜR-GÜLLÜHAN	THE TRAJECTORY OF FINANCIAL LITERACY IN PRIMARY SCHOOL CURRICULA UNDER THE TÜRKİYE CENTURY MAARİF MODEL: THE CASE OF LIFE STUDIES AND SOCIAL STUDIES	500-509
Derya BEKİROĞLU Nur ÜTKÜR-GÜLLÜHAN	LESSONS FROM AN ANIMATION: AN ANALYSIS OF THE FILM <i>INSIDE OUT</i> IN THE CONTEXT OF SOCIAL AND EMOTIONAL LEARNING	510-521
BERNA BAŞ	PHYSIOLOGICAL AND MOLECULAR RESPONSES OF PLANTS TO DROUGHT STRESS	522-532
BERNA BAŞ	THE ROLE OF WRKY TRANSCRIPTION FACTORS IN DROUGHT STRESS	533-542
Mehmet Bahaddin Fırat	THEORETICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF SWITCHING FREQUENCY ON HARMONIC PERFORMANCE AND POWER LOSSES IN A SINGLE-PHASE SPWM INVERTER	543-555
Cihan ÇİMEN Toprak OBA Yasin ARSLANOĞLU	ENABLING VARIABLE-SPEED CPP OPERATION VIA CHARGE AIR BYPASS: A FUEL SAVINGS ANALYSIS	556-571
Ali DEBRE Yakup YÜREKTÜRK	INVESTIGATION OF THE POST-FORGING MECHANICAL PROPERTIES OF 6082 ALUMINUM ALLOY PRODUCED FROM EXTRUDED AND CAST FEEDSTOCKS	572-579
Nilay ŞAHİN Irmak KARADUMAN ER	ANXIETY, COPING MECHANISMS, AND ACADEMIC STRESS IN HEALTH SCIENCES STUDENTS DURING EXAMINATIONS	580-584
Merve BULDAÇ	VISIBLE WINDOW, ENCLOSED INTERIOR: A CONTEMPORARY READING OF THE BUILDING ENVELOPE—INTERIOR RELATIONSHIP THROUGH HISTORICAL FAKE WINDOW PRACTICES	585-594
Aliye ÇİLAN AKIN Adnan AKIN	FACTORS AFFECTING THE COMPETITIVENESS OF THERMAL TOURISM BUSINESSES: A LITERATURE REVIEW	595-603

Vedat ÇALIŞKAN	THE GERMAN ONLINE-VERFAHREN IN CIVIL PROCEDURE: A PILOT PROCEDURAL MODEL FOR DIGITAL LITIGATION AND ITS RELEVANCE FOR TURKISH LAW	604-614
Rabia ÇİÇEK	FIXED AND REMOVABLE PROSTHETIC REHABILITATION IN INDIVIDUALS WITH DISABILITIES: A CASE REPORT	615-621
Rabia ÇİÇEK	FULL-MOUTH TOOTH- AND IMPLANT-SUPPORTED PROSTHETIC REHABILITATION IN A PATIENT WITH A SEVERE CLASS II OCCLUSAL RELATIONSHIP: A CASE REPORT	621-629
Ahsen Begüm ALTUNTAŞ	THE HEGEMONIC ROLE OF SUSTAINABILITY: URBAN SPRAWL IN THE CONTEXT OF NEOLIBERAL URBANIZATION	630-638
Serpil AĞIRMAN Barış BAYRAK Abdulkadir Cüneyt AYDIN	INVESTIGATION OF THE FLEXURAL BEHAVIOR OF GLASS AND BASALT FIBER-REINFORCED GEOPOLYMER CONCRETES AFTER HIGH-TEMPERATURE EXPOSURE	639-646
Keziban AĞRAĞLI Nadiye BARIŞ EREN	INNOVATIVE CARE TECHNOLOGIES FOR THE PREVENTION OF IMMOBILIZATION-RELATED COMPLICATIONS	647-655
Emine CURAN Nadiye BARIŞ EREN	INNOVATIVE INVENTIONS SUPPORTING PATIENT SAFETY IN INVASIVE NURSING PRACTICES	656-662
Görkem GEDİK Dilek AYKAN TANTUNÇ Fatma GÜMÜŞ Ayça BÜYÜKTUNCER	DEVELOPMENT OF AN EXPANDED PERLITE- LDPE COMPOSITE MATERIAL FOR INSULATION APPLICATIONS	663-669
Baycan MOR	EVALUATION OF THE <i>IN VITRO</i> ANTILEISHMANIAL ACTIVITIES AND CYTOTOXIC EFFECTS OF ARYL AMINOESTER DERIVATIVES AGAINST THE PROMASTIGOTES OF <i>LEISHMANIA MAJOR</i> , <i>LEISHMANIA</i> <i>TROPICA</i> , AND <i>LEISHMANIA INFANTUM</i>	670-677
Sedef KURT	AESTHETIC REHABILITATION OF A PATIENT WITH SURGICAL PHOBIA AND IMPACTED CANINE USING DIGITAL WORKFLOW, CUTBACK ZIRCONIA, AND AESTHETIC ILLUSION PRINCIPLES: A CASE REPORT	678-681
Sedef KURT	AESTHETIC REHABILITATION OF ANTERIOR TEETH WITH HYPOMINERALIZED CENTRAL INCISOR AND SMALL DIASTEMAS USING DIGITAL WORKFLOW AND LAMINA VENEERS: A CASE REPORT	682-685
Seçil KULAÇ	MACHINE LEARNING-BASED PREDICTION OF UPPER-BACK MUSCULOSKELETAL SYMPTOMS AMONG DESIGN STUDENTS: A COMPARISON OF LOGISTIC REGRESSION AND RANDOM FOREST	686-696
Çiğdem YURTSEVEN Özgür YURTSEVER	A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE L-MATRIX AND FINE- KINNEY METHODS IN THE EMERGENCY DEPARTMENT AND A STAKEHOLDER-WEIGHTED HYBRID RISK- PRIORITIZATION MODEL PROPOSAL	697-703
Can Okan GÜL Süleyman Ziya ŞENYURT Kamile ERCİYAS	USE OF ENAMEL MATRIX DERIVATIVE AND PERIACRYL® IN THE TUNNEL TECHNIQUE SUPPORTED BY A SUBEPITHELIAL CONNECTIVE TISSUE GRAFT: A CASE REPORT	704-712
Feyyaz ALPSALAZ Hasan UZEL Bekir Emre ALTUN	WEATHER CLASSIFICATION BASED ON METEOROLOGICAL PARAMETERS: A COMPARATIVE STUDY OF ENSEMBLE LEARNING	713-722
Hasan UZEL Feyyaz ALPSALAZ Bekir Emre ALTUN	PREDICTION OF SUPERCONDUCTING CRITICAL TEMPERATURE USING MACHINE LEARNING METHODS	723-732
Ayça Ilgaz Zeynep Erdem Umut Küçükçoban Halil İbrahim Küçüktosun	AN EXAMINATION OF THE RELATIONSHIPS AMONG EMPLOYEES' PERCEPTIONS OF ORGANIZATIONAL JUSTICE, PSYCHOLOGICAL CONTRACT VIOLATION, AND ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIORS	733-741
Ahmet KURNAZ	FROM PRODUCTION SPACE TO AN INDUSTRIAL MUSEUM: THE ADAPTIVE REUSE OF THE ERTEMLER OLIVE OIL FACTORY	742-751

Hüseyin KOTAMAN	EDUCATION PHILOSOPHY AND PLAY	752-757
Hüseyin KOTAMAN	SUSTAINABILITY EDUCATION	758-763
Furkan PEKTAŞ Ali Can TELLİOĞLU Aykut DANA	AN EXAMPLE OF A TEST COURSE FOR ACCELERATED LIFE TESTING OF AGRICULTURAL TRACTORS	764-771
Emre Can TAŞDEMİR Toprak OBA Yasin ARSLANOĞLU	QUANTIFYING THE ENERGY EFFICIENCY PENALTY OF DEFERRED MAINTENANCE ON MOTOR YACHTS: A MULTI- VESSEL CASE STUDY	772
Hatice YAREN KULOĞLU	GASTROINTESTINAL HISTOLOGY AND DIETARY ADAPTATIONS OF <i>Falco Tinnunculus</i> AS A CARNIVOROUS RAPTOR	773-792
Hatice YAREN KULOĞLU	HEPATIC HISTOLOGY IN SONGBIRDS AND BIRDS OF PREY: A COMPARATIVE INVESTIGATION FOCUSED ON THE EURASIAN GOLDFINCH (<i>CARDUELIS CARDUELIS</i>) AND SAKER FALCON (<i>FALCO CHERRUG</i>)	793-804
Ebru KEMER Nisa AYDEMİR	AN INVESTIGATION INTO THE RELATIONSHIP BETWEEN FOOD SUPPLY CHAIN AND FOOD WASTE IN FOOD AND BEVERAGE ENTERPRISES: THE CASE OF NİĞDE PROVINCE	805-806
Bahadır GÜVEN	AN INVESTIGATION OF MOSFET POWER LOSSES	807-808
Mehmet Ali ÖZTÜRK Ali YÜKSEK	PRIME Γ -NEARNESS IDEALS OF NOBUSAWA GAMMA NEARNESS RINGS	809-810
Mehmet Ali ÖZTÜRK Ali YÜKSEK	QUOTIENT NOBUSAWA GAMMA NEARNESS RINGS	811-812
İsmail Server HAYDAROĞLU Zehra ÇUBUKCU	DIGITAL TRANSFORMATION IN TAX AUDITING	813-814
Enes ER	THE POSSIBILITY OF TRUTHFUL REPORT IN THE AGE OF DEEPPAKES: RECONSIDERING KALĀM EPISTEMOLOGY IN RELATION TO DIGITAL INFORMATION PROBLEMS	815-816
Sümeýra MAKAL	VALUES EDUCATION IN MUHAMMAD YUSUF KANDEHLAWI'S HAYAT AL-SAHABA	817-818
Serkan ALKAN	THE MUTUAL INFORMATION-BASED NETWORK STRUCTURE OF LIQUIDITY DEPENDENCE IN BORSA ISTANBUL	819-820
Tarık Özdemir	STRUCTURAL ANALYSIS-BASED DESIGN OPTIMIZATION AND MATERIAL COMPARISON OF AUXETIC CELLULAR STRUCTURES	821-822
Ecren UZUN YAYLACI	EVALUATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT CALCIUM SOURCES ON MICROBIALY INDUCED CALCIUM CARBONATE PRECIPITATION	823-824
Mehmet Fatih ÜNAL	THE MYTHICIZATION OF THE POLITICAL SPHERE AND THE MODERN TECHNIQUE OF MYTH IN THE CONTEXT OF ERNST CASSIRER'S <i>THE MYTH OF THE STATE</i>	825-826
Yasemin Ayşe SANCAK	COMPARISON OF ROMANTIC RELATIONSHIPS INITIATED THROUGH SOCIAL MEDIA AND FACE-TO-FACE IN TERMS OF ATTACHMENT STYLES, SOCIAL MEDIA ADDICTION, AND PERSONALITY TRAITS	827-828
Ömer YILMAZ	EXAMINING GOD IMAGE AMONG MENTAL HEALTH PROFESSIONALS IN TERMS OF DEMOGRAPHIC AND PSYCHOSOCIAL VARIABLES	829-830
Hasan Doğuş KARAKOÇ Nilgün ONNAR	DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BORDERLINE PERSONALITY TRAITS, DEPRESSION AND SELF-DISGUST	831-832
Çiğdem Elif AKGÜN	EFFECT OF MEDIUM VISCOSITY AND ALTERNATING MAGNETIC FIELD AMPLITUDE ON THE HYPERTHERMIA PERFORMANCE OF $\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Gd}_{0.05}\text{Fe}_{1.95}\text{O}_4$ NANOPARTICLES	833-834
Gizem YILMAZ	FORENSIC DENTISTRY APPLICATIONS	835-836

Gizem YILMAZ	FULL-MOUTH PROSTHETIC REHABILITATION IN AN ADULT PATIENT WITH OPEN BITE MALOCCLUSION: A CASE REPORT	837-838
Hokuma SAFARLI AGHASOY Handan POLAT	FROM TRADITION TO CONTEMPORARY: REFLECTIONS OF ANATOLIAN WEAVING CULTURE IN CONTEMPORARY SCULPTURE	839-840
Özcan ÇETİK	REFLECTIONS OF TURKISH MUSIC IN BALKAN MUSIC AND INSTRUMENTAL PERFORMANCE PRACTICES	841-842
Ümmühan SOLMAZ	MOLECULAR DOCKING INVESTIGATION OF THE INTERACTIONS OF A CARBAMOTHIOYL-DERIVED LIGAND AND ITS RUTHENIUM(II) COMPLEX WITH CANCER-RELATED TARGET PROTEINS	843-844
Birten BARSBAY İNAÇ	HADRON SPECTROSCOPY VIA QCD SUM RULES: RECENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES	845-846
Ekin İrem Çifçi Şeyma Gümüş Kürekçi	THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE NURSING CARE PROCESS	847-848
Ömer Kekliceek	PERFORMANCE OF THREE LARGE LANGUAGE MODELS (CLAUDE, CHATGPT, AND GEMINI) ON CLINICAL SCENARIOS OF LOCAL ANESTHETIC SYSTEMIC TOXICITY: A COMPARATIVE VIGNETTE-BASED STUDY	849-851
Büşra ÇALIŞKAN Nurcan GÜRSOY	ASSOCIATION BETWEEN THE ENDOTHELIAL ACTIVATION AND STRESS INDEX AND DIABETIC MACULAR EDEMA IN TYPE 2 DIABETES MELLITUS	852-853
Bilal ÖZASLAN	ANALYSIS OF NONLINEAR SITE RESPONSE IN THE HATAY REGION DURING THE 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKE SEQUENCE USING EARTHQUAKE HORIZONTAL-TO-VERTICAL SPECTRAL RATIOS	854-855
Bartu BAŞARAN Ali AKDAĞ	DEEP LEARNING BASED CLASSIFICATION OF FOREST FIRES	856-857
Ravana GULIYEVA Nigar ALIYEVA Firuza MAHARRAMOVA Elnara MAMMADOVA	THE PARADOX OF MODERN EDUCATION: MORE INFORMATION, LESS UNDERSTANDING?	858
Ravana GULIYEVA Nigar ALIYEVA Shahsanam SAFAROVA Sevinc AMIRASLANOVA Narmin MAMMADOVA Milana AKİFLİ	NATURE'S MOLECULAR HACKERS: PLANT COMPOUNDS THAT HIJACK HUMAN CELLULAR PATHWAYS	859-860
Muhammad Shoaib	STRUCTURAL CHARACTERIZATIONS AND HOMOMORPHIC PROPERTIES OF SOFT LEFT ALMOST SEMIRINGS	861
Eddari Ayoub	STUDY OF PLASMA BEHAVIOUR IN TOKAMAKS: HYDRODYNAMIC AND MAGNETIC EFFECTS	862
ROBIN THARIAN	SURVIVAL AND SUSTAINABILITY OF SMALL-SCALE RETAILERS – A STUDY WITH SPECIAL REFERENCE TO KERELA.	863-864
Abbas Saleh BAILEY Domwen Lohcwat Daniel Danladi Monsur Morawo Bailey Saleh	INTEGRATING DIFFERENTIATION AND INTEGRATION OF PARALETRIX WITH BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: THEORETICAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL FRAMEWORKS	865-872
Md Iqbal Hossain Md Bani Amin Aspiya Akter Rakib Ul Hasan	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS IMPACT ON BUSINESS AND SOCIETY	873
Asun David Great Akanbi Bello Mohammed	AUTOMATING HEALTHCARE DELIVERY: THE IMPLEMENTATION OF A DIGITAL HEALTH RECORD AND PATIENT MANAGEMENT SYSTEM FOR UNIVERSITY HEALTH CENTRES	874

Sanjida Nousin Rafsun Rahman Md Norim Bhuyan Md Nasir Uddin Sajib Hasan	ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CANCER DIAGNOSIS AND PROGNOSIS	875
Ahmad Sulaiman Musa Rukayya Gambo Lawal A.I. Yar'adua Akilu Abdullahi Sada Aminu Usman Zainab Suleiman	NUTRITIONAL AND ANTI-NUTRITIONAL EVALUATION OF LOCALLY FORMULATED COMPLEMENTARY FOODS FROM MILLET, SOYBEAN, GROUNDNUT AND SORGHUM FOR ENHANCED INFANT NUTRITION	876
Monisha S Ranjani Soundhararajan	A MULTIFUNCTIONAL GREEN NANOPLATFORM FOR DENTAL BIOFILM CONTROL	877
Said Kerraj Mohamed elmamouni Mohamed Moussaoui	ARENE LIGAND ENGINEERING IN CHROMIUM HALF-SANDWICH COMPLEXES TOWARD ENHANCED DYE-SENSITIZED SOLAR CELL PERFORMANCE	878
Alozie Victoria Chika Akanbi, Bello Muhammed	THE IMPACT OF LECTURE TRANSCRIPTION AND SEARCH SYSTEMS ON ACADEMIC INFORMATION RETRIEVAL IN TERTIARY INSTITUTIONS	879
ESAN ^a *, T. O. Pii, B. T Ajibulu K. E Adebayo L. O	CORROSION PROTECTION PERFORMANCE OF <i>BAMBUSA VULGARIS</i> EXTRACT FOR MILD STEEL IN 1M H ₂ SO ₄ . MEDIUM	880
Sanaa El-Jamal Houda Elfane Imane Barakat Rekia Belahsen	ULTRA-PROCESSED FOODS AND THE EROSION OF TRADITIONAL DIETARY PATTERNS IN MOROCCO: IMPLICATIONS FOR NUTRITION TRANSITION AND PUBLIC HEALTH	881-882
Poonam Dr. Sunil Kumar	COMPOST BASED ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE	883
Maryam Halliru Idris Aliyu Ibrahim Yaradua Hadiza Kabir Matazu Hafsat Nasir Nayaya	EFFECT OF ASPERGILLUS NIGER FERMENTATION ON ANTI-NUTRITIONAL FACTORS OF MILLET (<i>Pennisetum glaucum</i>) STALK	884
A. Sivagayathri R. Srividhya A. Vivekanandhan R. Sudha	MACHINE LEARNING FOR AUTOMATED EARLY DETECTION OF ALZHEIMER'S DISEASE USING MULTIMODAL BRAIN IMAGING DATA	885
Gongden Esther Ephraim Abifarin S. Micheal Ozaji E. Bernadette	EFFECTS OF ZOOM-TEACHING MODE ON JUNIOR SECONDARY TWO STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS BASIC SCIENCE AND TECHNOLOGY IN JOS SOUTH, PLATEAU STATE, NIGERIA	886-896
Hafsat Nasir Nayaya Ibrahim Hamza kankia Aliyu Ibrahim Yar'adua Ahmad Sulaiman Musa Abdulmajid Bashir	PHYTOCHEMICALS SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF FRESH AND AGED GARLIC EXTRACTS	897
Shamsuddeen Ahmad Kele Bashar Haruna Gulumbe Gadafi Nasir Abdulkareem T. Zakari Abdullahi Dauda Haliru Abdullahi Someone Mercy Adams Abdul'azeez Muhammad Mahuta	BACTERIAL PROFILE AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY PATTERNS OF WOUND INFECTIONS IN A SECONDARY HEALTHCARE FACILITY IN NORTHWESTERN NIGERIA	898
B.Madhan kumar N.Santhosh Dr. S. Selvam	GAMIFICATION IN EVERYDAY LIFE: TRANSFORMING ROUTINE ACTIVITIES INTO ENGAGING EXPERIENCES	899-903
SF.Joshwa Santhosh P.Abinash Dr. S. Selvam	AI-POWERED HEALTHCARE: TRANSFORMING DISEASE DETECTION	904-907



Maroua RIAD Ahmad AL-SHAMI Jamal MABROUKI	NANOTECHNOLOGY-BASED DRUG DELIVERY SYSTEMS FOR BREAST CANCER THERAPY: ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES	908
Robraw ANN	CAMBODIAN PRIMARY SCHOOL TEACHERS' ATTITUDES TOWARD TEACHING AND LEARNING INSPECTION: A STUDY IN KAMPONG THOM PROVINCE	909
Sundas Afresham	EPIDEMIOLOGY AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF <i>EIMERIA</i> SPECIES INFECTING POULTRY IN SELECTED DISTRICTS OF CENTRAL PUNJAB, PAKISTAN	910
Oussama Mahmoudi	ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ANIMAL PRODUCTION: MECHANISMS, SELECTIVE PRESSURES, AND MITIGATION STRATEGIES WITHIN THE ONE HEALTH FRAMEWORK	911
Mahamudur Rahman Papon Nilima Islam Golam Rasul Mohammad Rashe Dun Nabi Sarwath Hussain Bhuiyan Fahad Rahul	EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY PATHWAYS FOR BANGLADESH BASED ON A MULTI-DIMENSIONAL ANALYSIS OF INSTITUTIONAL ENERGY DEMAND VIS-À-VIS SOCIO-ECONOMIC INDICATORS AND INCOME LEVE	912
Maryem Arraji Mohamed Khalis Mohamed Chahboune	USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THEVALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE	913
S. Anu Ratthika P. Mareeswari S. Meenakshi	RAPID CAPTURE AND REDUCTION OF HEXAVALENT CHROMIUM IONS FROM AQUEOUS SOLUTION USING MN- PDC MOF-LOADED CHITOSAN COMPOSITE	914
P. Mareeswari S. Anu Ratthika A.V. Rubeena R. Thulasiraman S. Meenakshi	PREPARATION OF DUOLITE A171 RESIN-CHITOSAN COMPOSITE FOR THE REMOVAL OF NITRATE FROM AQUEOUS MEDIUM	915
Wilson, I. U.	FROM SONAR TO SENSORS: HARNESSING AI TO DECODE HYDROBIOLOGICAL SIGNALS FOR A THRIVING OCEAN DECADE	916-923
German Mohammed	UNDERFUNDING HUMAN POTENTIAL: A STUDY OF HEALTH, EDUCATION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN NIGERIA	924
Fatima Bouizzal	CHRONIC STRESS AND INFLAMMATION: THE NEUROIMMUNE AXIS AS A MECHANISM OF TRANSITION TO DEPRESSION	925
AIKPITANYI IKPONMWOSA IYERE TOMBRA YE BLESSED IGBAYILOLA YUSUFF DIMEJI	NEUROPROTECTIVE MECHANISM OF ETHANOLIC LEAF EXTRACT OF <i>BRASSICA OLERACEA L. VAR ACEPHALA</i> IN ARSENIC-INDUCED FRONTAL CORTICAL DEGENERATION	926
Elorchi Soukaina Abdoul-Hakim El alaoui el abdallaoui Habib Mimoun Belhadi Mohammed Chafi Mohammed Salah	ISOQUINOLINE DERIVATIVES FROM 1,3-DIPOLAR CYCLOADDITIONS: A DFT AND DOCKING APPROACH TOWARD ALZHEIMER'S AND PARKINSON'S TREATMENT	927
Zubairu Umar Muazu Abdullahi Yahaya Kazeem Ibraheem Ajadi Adebiji Aliu Gbolahan Chindo Aisha Abdullah	ASSESSMENT OF KAOLIN AS AN ECO-FRIENDLY PARTIAL ALTERNATIVE TO TITANIUM DIOXIDE IN DECORATIVE PAINTS	928
Oussama SMAILI Wafa YAHIAOUI Hana KAZOULA Nadjiba CHABOUTI	EVALUATION OF THE PHENOLIC POTENTIAL AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF WILD AND CULTIVATED CAROB TREE (<i>CERATONIA SILIQUA L.</i>) LEAVES	929



Fatima Bouizzal	STRUCTURAL EQUATION MODELING OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN STRESS, BURNOUT, AND DEPRESSION	930
Ebenezer Akinniyi AKINYEMI Kehinde Timothy AKANGBE	THE IMPACT OF GOVERNMENT HEALTH EXPENDITURE ON ECONOMIC GROWTH IN NIGERIA. 1981 – 2022)	931-932
Lansine Diakité Abdeljalil Elmahdaoui Mohamed El Hassan Bouchari Fatima-ezzahra Derdar Abdelilah Meddich Zineb Lachhab Zahra Sokar	<i>ACACIA TORTILIS</i> SSP. <i>RADDIANA</i> : EARLY THERAPEUTIC EFFECTS IN PULMONARY FIBROSIS	933
Mohammed-Yassine Takzima Mohamed Echchakery Mohamed Hafidi Loubna El Fels	HEALTH PROFESSIONALS' KNOWLEDGE OF MEDICINAL PLANT USE FOR CUTANEOUS LEISHMANIASIS IN MARRAKECH-SAFI REGION, MOROCCO	934
Samir MERADI	GENERATIVE AI AND PATIENT EXPERIENCE IN DIGITAL HEALTH SERVICES: TOWARD HUMAN-CENTERED HEALTHCARE MARKETING	935-939
Azorji JohnPaul Nnawuike Igwe Charles Ekene Iheanacho Juliet Nkeiruka Edore Pamela Umunna Ubochi Kingsley Chinedu Igbokwe Moses Nwachukwu Udodi Chibuike Nzenwa Peter Odinaka Meziobi Thelma Chikerenma	CRISPR-BASED TECHNOLOGY AS AN ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE STRATEGY FOR THE BIOCONTROL OF IMPORTANT AGRICULTURAL INSECT PESTS	940-941
Raghav Sivakumar	THE ROLE OF ROBOTICS IN TRANSFORMING THE AUTOMOBILE INDUSTRY: ENHANCING EFFICIENCY, QUALITY, AND SAFETY	942
Gayathri P Dr.C.Vairavan	BIOTECHNOLOGICAL FOOD SYSTEMS AND PUBLIC HEALTH IN PAOLO BACIGALUPI'S THE WINDUP GIRL	943-950
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-PROTECTIVE SEISMIC ENGINEERING FOR HOSPITAL FUNCTIONAL RECOVERY: STRUCTURAL, NONSTRUCTURAL, LIFELINE, AND CLINICAL CONTINUITY STRATEGIES	951-963
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-PROTECTIVE GEOTECHNICAL ENGINEERING FOR CONTAMINATED SOILS: EXPOSURE PATHWAYS, STABILIZATION/SOLIDIFICATION, CAPPING, AND SAFE REDEVELOPMENT	964-977
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-PROTECTIVE CIVIL ENGINEERING FOR VULNERABLE ROAD USERS: SAFE-SYSTEM SPEED MANAGEMENT, CROSSING DESIGN, AND ACTIVE-MOBILITY INFRASTRUCTURE	978-991
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-PROTECTIVE URBAN DRAINAGE ENGINEERING FOR FLOOD-CONTAMINATION RISK: STORMWATER, SEWER OVERFLOWS, BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE, AND PUBLIC HEALTH	992-1003
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-PROTECTIVE CIVIL ENGINEERING FOR DAMP AND MOULD-PRONE BUILDINGS: MOISTURE PATHWAYS, ENVELOPE DESIGN, VENTILATION, AND INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY	1004-1016
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-PROTECTIVE CIVIL ENGINEERING FOR INTERMITTENT WATER SUPPLY: CONTAMINATION PATHWAYS, PRESSURE MANAGEMENT, AND RESILIENT DISTRIBUTION IN WATER-STRESSED CITIES	1017-1030
Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	CIVIL ENGINEERING CONTROL OF CONSTRUCTION AND ROAD DUST FOR PUBLIC HEALTH IN HOT, DRY CITIES	1031-1044



Ali Akbar Firoozi Ali Asghar Firoozi	HEALTH-INFORMED CIVIL ENGINEERING FOR URBAN HEAT MITIGATION: INTEGRATING PAVEMENTS, SHADE, AND BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE IN HOT AND DRY CITIES	1045-1058
Waqar Ahmed Nabiha Naeem	<i>IN SILICO</i> CHARACTERIZATION OF HYPOTHETICAL PROTEINS OF <i>WUCHERERIA BANCROFTI</i>	1059
Roxana Mihaela Moisoiu	THE INFLUENCE OF POVERTY ON THE DEVELOPMENT OF CRIMINALITY	1060-1067
Nguyen Thi Be Ba Nguyen Huynh Kieu Anh Nguyen Nhut Nam Thai Cong Dan	OVERVIEW OF WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT SYSTEM APPLICATIONS IN TOURISM: THEORY AND PRACTICE	1068-1084
Major Gheorghe GIURGIU Prof. dr. med. Manole COJOCARU	WHAT WE KNOW ABOUT PSORIASIS SO FAR?	1085
Omer Shujat Bhatti Nazia Iftakhar Muhammad Asad Ghufraan Jamshaid Khan	UNVEILING THE GREEN IMPACT: COMPARING LEED-CERTIFIED AND TRADITIONAL LIBRARIES IN PAKISTAN'S WITH END USER SATISFACTION THROUGH ENVIRONMENTAL DESIGN INSIGHTS.	1086
Ivan PAVLOVIĆ Jovan BOJKOVSKI Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA Vladica MLADENOVIĆ	IMPORTANCE OF PARASITOLOGY CONTROL OF GRASS ON PASTURES FOR THE PRESENCE OF GASTROINTESTINAL STRONGILIDAE LARVAE	1087
Chaima MENDOUB Laila LAASRI	ENERGY EFFICIENCY IN MOROCCAN HOUSEHOLDS: KEY TECHNOLOGIES, POLICY MEASURES AND BARRIERS TO WIDER ADOPTION	1087
Mohammed Waheeb Ishaq Eyal Salman AL Saudi	THE INTERPLAY OF TOPOGRAPHY AND MILITARY STRATEGY: AN ANALYSIS OF THE EXPEDITIONS OF DHAT ATLAH AND ABNA IN THE JORDAN REGION	1089-1090
Sakineh Khanamani Falahatipour Soudeh Khanamani Falahati- Pour Motahareh Soltani Zahra Roshani	EXTRAPOLATION OF DRUG DOSES IN EXOTIC AND ZOO ANIMALS: A CRITICAL REVIEW OF CURRENT PRACTICES AND THE URGENT NEED FOR EVIDENCE-BASED APPROACHES	1091
Yousra ZIANE Dr. Ouahiba Hadjam Pr. Ouahida BENSEBIA	ASSESSMENT OF THE MECHANICAL AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ECO-BINDERS FOR THE TREATMENT OF ONSHORE OIL DRILLING CUTTINGS BY STABILISATION/SOLIDIFICATION	1092
Elizaveta N. Dolgova	TURKIC AMAZONS AS A MODEL OF SOCIAL JUSTICE: RECONSTRUCTING MEANING IN THE CHUVASH LINGUISTIC AND FOLKLORE TRADITION	1093
Deilton RIBEIRO BRASIL	THE RIGHT TO CARE FOR OLDER PERSONS AS A FUNDAMENTAL RIGHT: ANTI-AGEISM AND COMPREHENSIVE PROTECTION PURSUANT TO BRAZILIAN LAWS NO. 15,069/2024 AND NO. 10,741/2003	1094-1094
Dr Irfan Bashir Dr Yasira Waqar Dr Amna Arif Dr Afshan Naseem Dr Aisha Sami Dr Almas Shoaib Dr Asma Noman Dr Ghazala Ishrat Dr Sajid Masood Dr Amna Yousaf Dr Farhat Munir Dr Faisal Anees Dr Aqila Rafique	RESHAPING TEACHER EDUCATION: PERCEIVED ROLE AND EFFECTIVENESS OF AI	1106
MUHAMMAD FAISAL	DIASPORA KNOWLEDGE TRANSFER MODELS FOR ACCELERATION OF NATIONAL AI CAPABILITIES	1107



Moses Adeolu AGOI Success Eniola OGBOYE Samuel Olayiwola AJAGA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	MACHINE INTELLIGENCE FOR MICROBIOME DNA PROFILING AND PERSONALIZED DIET THERAPEUTICS	1108-1118
Abdelouahad Ouali Abderrazak Mabrouki Youcef Ouzani Houda Boutalbi Fatima Hiouani Djamila Madani Chafia Tir	COMPARATIVE EVALUATION OF C:N RATIOS FOR DATE PALM WASTE COMPOSTING IN A LOW-COST ROTARY DRUM BIOREACTOR	1119
Samir MERADI	FROM AI-DRIVEN MARKETING TO PHYGITAL CUSTOMER EXPERIENCE: HOW GENERATIVE AI REDEFINES THE CUSTOMER JOURNEY	1120
Wasiu Olatunde OLADAPO	SELF-REGULATED LEARNING STRATEGIES AND ACADEMIC PERFORMANCE AMONG COMPUTER SCIENCE STUDENTS	1120
El mostafa Benharaf Ali Barhoumi Ahmed Moufti Mohamed Taoufik Mohammed Chafi Abdellah Zeroual Mohammed El idrissi	COMPUTATIONAL INSIGHTS INTO NOVEL ORGANIC PHOTOSENSITIZERS FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELL APPLICATIONS	1122
MARCELA MELE HERMIS MELE	MOBILITY TRANSITIONS, DIASPORA RETURN AND CIRCULATORY LIVING BETWEEN ALBANIA, GREECE AND NORTH MACEDONIA	1123
Okechukwu, C.O. Tawariowei, M. A.	QUALITY ASSESSMENT OF TREATED WATER FROM BREWING	1124
Maryem ARRAJI	MEDICATION ADHERENCE AMONG PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: FINDINGS FROM A MULTICENTER STUDY IN MOROCCO	1125
Omer Shujat Bhatti M. Asad Ghufuran Faizan Ali Nazia Iftakhar M. Ahmed Nadeem	EVALUATION OF LEED CERTIFICATION POTENTIAL FOR BUILT ENVIRONMENT PEDAGOGY AT UNDERGRADUATE LEVEL IN PAKISTAN. CASE FOR ARCHITECTURE & DESIGN DOMAINS	1126
Salma MAKDOUF Karima El Bouqdaoui Abdelhakim El Makssoudi Mounia Cherki	COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF <i>FUMARIA PARVIFLORA</i> FROM CASABLANCA, EL JADIDA AND KHOURIBGA OF MOROCCO	1127
Iram Liaqat	INHIBITORY EFFICACY OF HONEY AGAINST MULTISPECIES BACTERIAL BIOFILM	1128
Nodar Sulashvili Marina Giorgobiani Nana Gorgaslidze Vira Kravchenko Olga Shapoval Igor Seniuk	SCIENTIFIC DISCOURSE ON THE PHARMACOLOGICAL PROPERTIES AND THERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF GEOMIN FORTE IN THE TREATMENT OF COVID-19: AN INTEGRATED MECHANISTIC, MOLECULAR, CLINICAL AND EVIDENCE-BASED ASSESSMENT	1129-1179
Nodar Sulashvili Maka Buleishvili Marina Giorgobiani Nana Gorgaslidze Ada (Adel) Tadevosyan Vira Kravchenko Marika Sulashvili Olga Shapoval Teimuraz Erukidze Mariam Jikidze Igor Seniuk David Aphkhazava	EXTENSIVE MULTISITE LUMINAL B-TYPE BREAST MALIGNANCY WITH DISSEMINATION TO VISCERAL ORGANS, THE SKELETAL SYSTEM, AND THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM: CHALLENGES IN CLINICAL RECOGNITION AND DIAGNOSTIC EVALUATION, INTEGRATED MULTIMODAL IMAGING ASSESSMENT, AND INDIVIDUALIZED MANAGEMENT THROUGH CDK4/6 INHIBITION, ENDOCRINE THERAPY, AND SYSTEMIC PHARMACOLOGICAL STRATEGIES	1180-1230



Samreen Gul Khan Zainib Razzaq	NOVEL THIOPHENE-1,3,4-OXADIAZOLE-CARBAMOTHIOATE HYBRIDS AS MULTI-TARGET ANTICANCER AGENTS AGAINST LUNG CANCER: SYNTHESIS, SAR ANALYSIS, AND MOLECULAR DOCKING STUDIES	1231
A. Abjaou R. Masrour	MAGNETOCALORIC EFFECT, STRUCTURAL, MAGNETIC AND ELECTRONIC PROPERTIES OF HIGH-ENTROPY ALLOYS $AlCo_xCr_{1-x}FeNi$: FIRST-PRINCIPLES CALCULATIONS AND MONTE CARLO SIMULATIONS	1232
Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Christiana Toyin ODUWOLE Adebayo Samuel ADEOGUN	AGENTIC AI FOR PERSONALIZED LEARNING AND INTELLIGENT INSTRUCTIONAL MANAGEMENT: ADVANCING SMART EDUCATIONAL LEADERSHIP IN THE DIGITAL AGE	1233-1245
Ahmed Osmane Fatima Bouhlal	HEALTH AND AGRONOMIC IMPLICATIONS OF IRRIGATING WHEAT AND BARLEY	1246
Ahmed Osmane Fatima Bouhlal	<i>WATER RESOURCE MANAGEMENT UNDER CLIMATE STRESS: EVIDENCE FROM THE MARRAKECH REGION</i>	1247
Yacine Laidi Nawfel El Bouchti	FORTY YEARS OF LANDSAT AND SENTINEL-2 RETROSPECTIVE ANALYSIS REVEAL A SPECIES-DIFFERENTIATED DIEBACK SIGNAL IN THE ATLAS FORESTS OF BÉNI MELLAL-KHÉNIFRA (MOROCCO)	1248
Saifan Hassan Chatresh Danyl Rishit Srivastava	TAXING THE RICH: AN ADVANTAGE TO CLOSE POVERTY OR A THREATENING ENVIRONMENT TO ENTREPRENEURS?	1249
CHUKWUEMEKA G. EME	<i>FOOD INSECURITY IN NIGERIA: AN ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE, ECONOMIC DEVELOPMENT AND CONFLICT ON FOOD SECURITY</i>	1250- 262
CHUKWUEMEKA GODSON EME	CLIMATE CHANGE AND ITS EFFECTS ON THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF NIGERIA	1263-1276
CHUKWUEMEKA G, EME	<i>IMPACT OF EMPLOYEE MOTIVATION ON THE PERFORMANCE OF MANUFACTURING FIRMS IN LAGOS STATE, NIGERIA</i>	1277-1304
CHUKWUEMEKA G. EME	AN APPRAISAL OF SUCCESSION PLANNING IN FAMILY-OWNED BUSINESSES IN NIGERIA: EMPIRICAL EVIDENCE FROM SELECTED SMEs IN LAGOS STATE, NIGERIA	1305-1315
Adeshina Nike Tosin Abdulwaheed Dauda (Ph.D) Ochepa A. A. (Ph.D) Rafatu Ozohu ONIMISI	INFLUENCE MARKETING BUYING AND CUSTOMER BEHAVIOUR OF AUTOMOBILE FIRMS IN MINNA METROPOLIS, NIGER STATE NIGERIA	1316-1319
Salawu M.O Prof. I.S. Umar Dr. Sallahu H.	EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON MAIZE FARMERS' PRODUCTION	1320-1334
MUHAMMAD FAISAL	EDGE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SMART MANUFACTURING: ENABLING REAL-TIME INDUSTRIAL INTELLIGENCE AND OPERATIONAL EXCELLENCE	1335
Ahmed Osmane Khadija Zidan Moustapha Belmouden	VALORIZATION OF OLIVE OIL BIOACTIVES VIA IMMOBILIZATION ONTO POZZOLAN-ALGINATE COMPOSITE BEADS	1336
Ahmed Osmane Khadija Zidan Moustapha Belmouden	NATURAL LAGOON PERFORMANCE IN REDUCING ORGANIC LOAD, NUTRIENTS, AND PATHOGENS FROM DOMESTIC WASTEWATER IN ARID MOROCCO	1337
Arthi T. S. Diva Verma Prajna Loukya Murali	DIALOGUE MAPPING FOR TRANSFORMATIVE LEARNING: A COGNITIVE-INTERPRETIVE FRAMEWORK FOR REDESIGNING HIGHER EDUCATION CLASSROOMS	1338
Dang Thi Thu An Trieu Thi Thuy Hang Nguyen Thi Ngoc Tinh Nguyen Thi Nguyen Tran Pham Hoang Ngoc Tram Ta Yen Vi Thai Cong Dan	WORKFORCE MANAGEMENT IN RESOURCE-CONSTRAINED EDUCATIONAL CONTEXTS: CHALLENGES AND STRATEGIES IN VIETNAMESE PUBLIC SCHOOLS	1339-1353



Le Thi Hong Chi Le Kim Ngan Nguyen Kim Khanh Thai Gia Nghi Tran Cong Ngon Chau Xuan Quynh Dr. Thai Cong Dan	WORKFORCE MANAGEMENT IN RESOURCE-CONSTRAINED AND SERVICE-ORIENTED EDUCATIONAL CONTEXTS: CHALLENGES AND STRATEGIES IN VIETNAMESE SCHOOLS, SERVICE CENTERS, AND PRIVATE INSTITUTIONS	1354-1368
Sakineh Khanamani Falahatipour Atefeh Heidar Ammameh	FROM GLYCEMIC CONTROL TO CARDIOVASCULAR PROTECTION: A NARRATIVE REVIEW OF GLP-1 RECEPTOR AGONISTS POTENTIAL IN CANINE AND FELINE MEDICINE	1369-1391
Mohammed Waheeb	MONUMENTAL EVENTS AT THE SITE OF THE BAPTISM OF JESUS CHRIST THE HISTORICAL AND ARCHAEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF THE SITE OF THE BAPTISM OF JESUS CHRIST (AL-MAGHTAS) ON THE EAST BANK OF THE JORDAN RIVER	1392-1393
Sakineh Khanamani Falahatipour Motahareh Soltani Zahra Hallajian	ALPHA-2 AGONISTS AS SOLE ANALGESICS IN DOGS AND CATS: WHEN CLINICAL REALITY MEETS PHARMACOLOGICAL MYTH	1394-1413
M. Dhinesh kumar DR.S. SELVAM	DIGITAL GATEKEEPERS: HOW AI CONTROLS JOB APPLICATIONS	1414-1418
S. DHARANI S. SELVAM	CYBERSECURITY IN AN INTERCONNECTED WORLD	1419-1423
Zenel Sina Adriana Qafa	TRANSFORMING TEACHING: PROMOTING CRITICAL THINKING and CIVIC VALUES through ACTIVE LEARNING	1424
Jean-Roitinos AISSI	CONTRIBUTION OF HYGIENE AND SANITATION TO THE QUALITY OF HOTEL SERVICES FOR THE DEVELOPMENT OF TOURISM IN BENIN: THE CASE OF MIRACLE HOTEL, DASSA-ZOUME	1425-1435
Saima Shaheen Nabila Sher Kalsoom Tariq	THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY	1436-1437
Tasawar Iqbal Sidra Altaf	ROLE OF TUMOR NECROSIS FACTOR-ALPHA (TNF-A) IN THE PATHOGENESIS OF RHEUMATOID ARTHRITIS	1438
Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Yewande Adeyosola ODUNAYO	SMART CAMPUS MANAGEMENT: IOT, AUTOMATION, AND INTELLIGENT INFRASTRUCTURE IN EDUCATION	1439-1453
Md Norim Bhuyan Md Nasir Uddin Sanjida Nousin Rafsun Rahman Sajib Hasan	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLINICAL PRACTICE AND ITS FUTURE PERSPECTIVES	1454
Joseph Joshua Bernadette E. Ozoji Michael S. Abifarinn	EFFECT OF GAMIFIED SIMULATION INSTRUCTIONAL PACKAGE ON JUNIOR SECONDARY TWO STUDENTS' MOTIVATION IN MATHEMATICS IN JALINGO, TARABA STATE, NIGERIA	1455-1464
Adetola, B. O. Orimaye J. O Ayodele O. C.	UNLOCKING BIRDWATCHING POTENTIALS FOR ECOTOURISM IN T. A. AFOLAYAN WILDLIFE PARK: VISITORS' PERSPECTIVES, OPPORTUNITIES AND CONSTRAINTS	1465-1476
Idris Memunat Iyetunde Akanbi, Bello Muhammed	AN ELECTRONIC LOGBOOK SYSTEM FOR STUDENT INDUSTRIAL TRAINING: DESIGN, IMPLEMENTATION, AND USER EVALUATION	1477
Mohammed Danyaro Rilwanu Muhammad Abdullahi Jega	INAPPROPRIATE DIAGNOSTIC IMAGING REQUESTS: CAUSES, CONSEQUENCES, AND STRATEGIES FOR IMPROVEMENT: A NARRATIVE REVIEW	1478-1487



Chaima MENDOUB Laila LAASRI	THE EVOLUTION OF MINIMUM ENERGY PERFORMANCE STANDARDS AND ENERGY LABELLING IN MOROCCO: IMPLEMENTATION CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES	1488
Roxana Mihaela Moisoiu	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS ROLE IN COMBATING POVERTY: OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	1489
CHUKWUEMEKA G. EME	SUSTAINABILITY STRATEGIES IN CONTEMPORARY BUSINESS MANAGEMENT: INTEGRATING ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG) PRINCIPLES IN CORPORATE PLANNING (A STUDY OF NIGERIAN	1490-1520

BEDENSEL ÖLÇEKTEN MEKÂNSAL DEŞİFREYE: SİNEMADA BEDEN –MEKAN İLİŞKİSİNİN DÖNÜŞÜMÜ

Öğr. Gör. Ayşegül KOÇ ÜNLÜSOY

Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of
Architecture, Yozgat

ORCID ID: 0000-0003-3871-0182

ÖZET

Mimarlık ve sinema, mekânı ve insan deneyimini görsel/hacimsel kurgular üzerinden inşa eden iki disiplindir. Bu çalışma; antropometrik beden ölçülerinin mekânsal kullanımı ve algıyı yönlendirme biçimlerini, sinemadaki ölçek manipülasyonları üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Geleneksel mimarlık teorisinde beden mekânın ölçek ve ergonomisini belirleyen sabit bir referansken, sinema beden boyutlarını esneterek mekânla kurduğu ilişkiyi yeniden tanımlar. Çalışma kapsamında öncelikle Modulor, Vitruvius ilkeleri ve ergonomik standartlar üzerinden beden normatif mekân üzerindeki etkisi teorik olarak ele alınmaktadır. Ardından çalışma, ana karakterlerin aşırı büyüdüğü veya küçüldüğü seçili sinema filmleriyle sınırlandırılmıştır. Araştırma nitel ve karşılaştırmalı analiz modeline dayanmaktadır. Çalışmanın yöntemini; teorik alt yapının oluşturulmasının ardından, seçili filmlerdeki beden-mekân ilişkisinin ‘mekânsal deşifre’; tekniğiyle analiz edilmesi oluşturur. Bu doğrultuda film sahneleri; beden mekâna sığamayıp sınırları zorladığı (makro-beden) ve mekânın mikro ölçekte devasa bir topoğrafyaya dönüştüğü (mikro-beden) durumlar üzerinden tipolojik olarak kategorize edilmiştir. Sahnelerin mekânsal deşifrelerinde mekânsal eylemsellik ve tekinsizlik kavramları çözümleme aracı olarak kullanılmıştır. Yapılan deşifreler, sinemadaki ölçek manipülasyonlarının norm kabul edilen standart beden anlayışını sorunsallaştırdığını ve mimari elemanların (kapı, merdiven, mobilya vb.) işlevini yitirdiğini göstermektedir. Çalışma, mekânın sabit bir kapsayıcı değil, bedenle etkileşim içinde sürekli yeniden üretilen esnek bir kurgu olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Mimarlık ve Sinema, Beden-Mekân İlişkisi, Mekânsal Deşifre, Antropometri, Sinematik Mekân

FROM BODY SCALE TO SPATIAL DECODING: THE TRANSFORMATION OF BODY- SPACE RELATIONSHIP IN CINEMA

ABSTRACT

Architecture and cinema are two distinct disciplines that construct space and human experience through visual and volumetric narratives. This study aims to examine how anthropometric body measurements guide spatial use and perception through scale manipulations in cinema. While traditional architectural theory posits the body as a fixed reference point defining scale, ergonomics, and spatial boundaries, the medium of cinema flexes these physical limits, redefining the body's relationship with space by manipulating its dimensions. Within the scope of this study, the dominance of the normative body over space is first addressed theoretically through the Modulor, Vitruvian principles, and ergonomic standards. Subsequently, the research is contextualized around selected feature films where lead characters undergo extreme growth (giantism) or shrinkage. The research relies on a qualitative and comparative analysis

model. Following the establishment of the theoretical framework, the methodology is driven by the "spatial decoding" of body-space relationships in the selected films. In this regard, film scenes are typologically categorized into two states: macro-bodies straining spatial boundaries and micro-bodies perceiving space as an expanded topography. Spatial affordance and the concept of the 'uncanny' (unheimlich) serve as analytical tools in decoding these scenes. The spatial decodings demonstrate that cinematic scale manipulations problematize the standardized body model accepted as normal in architecture, rendering normative elements—such as doors, stairs, and furniture—dysfunctional. Ultimately, the study confirms that space is not merely a static container, but a flexible construct continuously reproduced through bodily interaction.

Keywords: Architecture and Cinema, Body-Space Relationship, Spatial Decoding, Anthropometry, Cinematic Space.

1. GİRİŞ

Geleneksel mimarlık kuramında mekânın niteliği, sınırları ve ölçeği doğrudan insan bedeninin fiziksel ve duysal varlığı üzerinden tanımlanır. Tasarımın odağına insanı yerleştiren bu yaklaşım, antik dönemden modern döneme kadar bedeni bir "ölçek sağlayıcı" ve "normatör" kabul etmiştir. Antik Roma mimarlık teorisinin temeli sayılan Vitruvius , insan bedenini evrensel düzenin, orantının ve harmoninin mikro-kozmosu olarak ele alır. Vitruvius'un beden oranlarından yola çıkarak kurguladığı ideal oran sistemi, Leonardo da Vinci'nin ünlü Vitruvius Adamı çizimiyle görsel varlığa dönüşmüştür. Bu yaklaşım, sütun yüksekliği, açıklıklar, cephe oranları gibi mimari elemanların doğrudan insan bedeninin parçaları ile uyumlu olması gerektiğini savunur (Wittkower, 1998). Modernizmle birlikte beden, geometrik bir orantı aracı olmanın ötesine geçerek endüstrileşen üretimin ve işlevsel mekânın "standart ölçütü" haline dönüşmüştür. Bu dönüşümün en radikal temsilcisi olan Le Corbusier (1954), The Modulor adlı çalışmasında Altın Oran ile insan bedenini birleştiren bir ölçeklendirme sistemi geliştirmiştir. Le Corbusier'ye göre Modulor; kapı yüksekliklerinden mobilya boyutlarına, tavan kotlarından kentsel yerleşimlere kadar tüm tasarlanmış çevrenin ergonomik ve matematiksel anahtarıdır. (Le Corbusier, 1954) Benzer şekilde Ernst Neufert, insanın eylemsel ve durumsal boyutlarını kataloglayarak mimarlıkta "normatif/standart beden" anlayışını kurala bağlamıştır. (Neufert, 1936) Bedenin mekânı şekillendirme ve algılama rolü, fenomolojik mimarlık teorisinde de geniş yer bulur. Ponty'ye göre mekân, dışarıdan gözlemlenen soyut bir koordinat sistemi değil; beden vasıtasıyla tecrübe edilen dokunsal ve eylemsel bir alandır. (Merleau Ponty, 1945) Mimarlık kuramcısı Juhani Pallasmaa, modern mimarlık anlayışının görselliğe aşırı odaklanmasını eleştirerek mekân algısının bedenin tüm duyularıyla gerçekleştiğini ve mimarının bedensel ölçek kaybettiğinde yabancılaştırıcı hale geldiğini belirtmektedir. (Pallasmaa, 2005) Sonuç olarak geleneksel ve modern mimarlık literatürü; antropometri ve ergonomiyi yalnızca fiziksel bir konfor parametresi değil, mekânın anlam kazanmasını sağlayan temel referans sistemi olarak konumlandırır.

Sinema, mimarlık disiplinine benzer şekilde mekan, zaman ve insana odaklanır. Öyle ki literatürde sinematik mekân; yalnızca olayların gerçekleştiği pasif bir fon değil, bedenle ve algıyla sürekli etkileşim halinde olan dinamik bir anlatı bileşeni olarak ele alınır. Mimarlık kuramcısı Juhani Pallasmaa , mimarlık ve sinemanın doğrudan "varoluşsal mekân" ürettiğini savunur. Pallasmaa'ya göre sinema, kameranın hareketi ve ölçek oyunları sayesinde mimarlıkta vaat edilen ancak her zaman fiziksel olarak deneyimlenemeyen dokunsal ve duygusal mekân tecrübesini izleyiciye aktarma gücüne sahiptir. (Pallasmaa, 2012) Beden, ölçek ve mekân

ilişkinin sinematik bağlamda inceleyen önemli isimlerden François Penz, sinematik kurgunun insanın mekânsal farkındalığını esnettiğini belirtir. Penz, kameranın bakış açısının ve beden boyutlarındaki kurgusal oynamaların, geleneksel ergonomik ve antropometrik standartları (Modulor vb.) yıkarak mekânı esnek bir topoğrafyaya dönüştürdüğünü vurgular. (Penz, 2017) Mekânsal eylemsellik ve beden etkileşimi üzerinden sinemayı okuyan Anthony Vidler ise, mimari ölçeğin bozulması veya bedenin mekâna sığamaması durumlarında ortaya çıkan "tekinsizlik" duygusunu analiz eder. Vidler' a göre, alışılmış insani ölççeklerin dışına çıkan mekânlar ve aşırı büyüyen ya da küçülen bedenler, mimari yapının insanı koruyan güvenli bir kılıf olma niteliğini yok ederek mekânsal yabancılaşma yaratır. (Vidler, 1992) Bunun yanı sıra, Giuliana sinema izleyicisinin mekândaki hareketini bir tür mimari gezinti olarak tanımlar. Bruno, filmlerdeki beden ve ölçek manipülasyonlarının, izleyicinin kendi beden sınırlarını aşarak mekânı yeniden deşifre etmesine olanak tanıdığını ileri sürer. (Bruno, 2002)

Bu çalışmanın amacı; sinemada bedenin ölçek değiştirdiği durumların mimari mekân üzerindeki yansımalarını incelemek, insan bedeninin normatif boyutlarını kaybettiğinde mimari elemanların geçirdiği niteliksel dönüşümü ortaya koymak ve bu dönüşümü mekânsal deşifre yöntemiyle analiz etmektir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada nitel ve karşılaştırmalı bir araştırma modeli benimsenmiştir. Araştırmanın temel metodolojik aracını "Mekânsal Deşifre" oluşturmaktadır. Mekânsal deşifre; sinematik karelerde yer alan mekân, nesne ve beden ilişkisinin mimari grafikler, tipolojik sınıflamalar ve kuramsal kavramlar üzerinden çözümlenmesi esasına dayanır. Çalışma kapsamında örneklem olarak bedensel ölçek manipülasyonunu en belirgin şekilde işleyen 5 sinema filmi seçilmiştir. Analiz sürecinde sahneler; Makro-Beden Analizleri (Bedenin büyüyerek mekân sınırlarını zorladığı, kabuğu patlattığı ve kentsel alanı maketleştirdiği durumlar ile Mikro-Beden Analizleri (Bedenin küçülerek ev içi eşyaları devasa topoğrafyalara dönüştürdüğü, ergonominin çöktüğü ve sınıfsal mekân ayrışmasının ölçeklendiği durumlar) olarak iki ana tipolojik kategoride ele alınmıştır. Deşifre adımlarında Gibson (1979) ve Norman (1988) tarafından kavramsallaştırılan 'Mekansal Eylemsellik' ile Vidler (1992) tarafından açıklanan 'Tekinsizlik' kavramları analiz araçları olarak kullanılmıştır.

3. ÖRNEK FİLM SAHNELERİNİN MEKANSAL DEŞİFRESİ

3.1. Alice in Wonderland (2010)

2010 yapımı *Alice in Wonderland* filmi, çocukluktan yetişkinliğe geçiş evresindeki Alice'in yer altı dünyasında beden boyutunu sürekli kaybetmesi üzerinden kimlik ve mekân arayışını işler. Filmin 28:00–31:30 dakikaları arasında gerçekleşen Beyaz Tavşan'ın konutundaki büyüme sahnesi, makro-beden ve sıkışan kabuk ilişkisini açık bir biçimde gözler önüne serer. Bu sahnede mimari mekân, insan bedenini dış etkenlerden koruyan konforlu bir "kabuk" olma niteliğini tamamen kaybederek Alice için kısıtlayıcıya dönüşür. Alice'in kontrolden çıkarak devleşmesi, yapının tavan ve duvarlarını büyüyen bedene fiziksel direnç gösteren sert sınır yüzeyleri haline getirir. Vidler'ın (1992) kavramsallaştırdığı 'Tekinsizlik' bu sahnede korunak sağlayan olan konutun, bir anda bedeni ezen tehditkâr bir hapishaneye verilmesiyle üretilir. Normal şartlarda dışarıyla bağ kurma eylemselliğine sahip pencere ve kapı doğramaları, bedensel büyüme karşısında Alice'in dirseklerini ve bacaklarını sıkıştıran mekânsal kelepçelere dönüşerek orijinal kullanım potansiyellerini yitirir. Tavan kotu ve mimari ölçek, bedeni baskılayan bir gerilim unsuruna dönüşmektedir.

3.2. Gulliver's Travels (1996)

Jonathan Swift'in hiciv türündeki klasik eserinden uyarlanan 1996 yapımı *Gulliver's Travels* televizyon dizisi, bir gemi doktoru olan Lemuel Gulliver'in fırtına sonrası karaya vurduğu bilinmeyen coğrafyalarda yaşadığı ölçeksel ve kültürel çatışmaları konu alır. Eser, insan merkezci bakış açısını sorgularken beden ölçeğinin iktidar ve toplumsal yapılar üzerindeki belirleyiciliğini inceler. Filmin ilk bölümünde (22:00–28:30 dakikaları arası) Gulliver'in Lilliput krallığının şehir meydanında yürüdüğü sahne, makro-beden ve kentsel anıtsallık ilişkisini ortaya koymaktadır. Bu sahnede sivil mimarlık örnekleri, kentsel sokak izleri ve otoriteyi temsil eden anıtsal saray yapıları, devasa Gulliver bedeni karşısında niteliğini kaybederek minyatür bir maket ölçeğine gerilemektedir. Kentin insan ölçeğine göre tasarlanmış cadde ve meydanları, Gulliver için sıradan bir basamak alanına dönüşür; böylece kentsel mekânların barınma, toplanma ve ulaşım gibi geleneksel mekânsal eylemsellikleri tamamen işlevsizleşir. Lilliputlular için heybetli ve aşılmaz olan anıtsal kentsel strüktürler, devasa beden karşısında tekinsiz bir biçimde basitleşip oyuncak etkisi sunar. Mekânın kentsel ölçekteki sembolik değeri, içine giren bedenin kontrolsüz boyutu karşısında bütünüyle sıfırlanarak sıradan bir zemin topoğrafyasına dönüşmektedir.

3.3. Honey, I Shrunk the Kids (1989)

Joe Johnston'ın yönettiği 1989 yapımı *Honey, I Shrunk the Kids*, çılgın bir mucidin küçültme cihazının kazara çalışması sonucu mikro-ölçeğe gerileyen dört çocuğun kendi evlerinin bahçesinde yaşadıkları hayatta kalma mücadelesini anlatır. Film, sıradan ve güvenli kabul edilen Amerikan banliyö yaşamını, ölçek değişimi üzerinden bilinmez bir vahşi doğa macerasına dönüştürür. Filmin 35:00–42:00 dakikaları arasında çocukların çöp poşetiyle bahçeye atılıp çimlerin arasında kaybolduğu sahne, mikro-beden ve peyzaj transformasyonunu deşifre eder. Bu sahnede insan müdahalesiyle biçimlendirilmiş, uysallaştırılmış ve bakımlı konut bahçesi, mikro-bedenler için aşılmaz dikey engellerle dolu devasa bir yağmur ormanı topoğrafyasına evrilmiştir. Freud ve Vidler'in vurguladığı kavramı en somut halini burada alır: çocuklar için tanıdık, güvenli olan bahçe, bedenin küçülmesiyle birlikte aniden yabancı, tekinsiz ve tehditkâr bir coğrafyaya dönüşür. Tek bir çim yaprağı devasa bir ağaç gövdesi etkisi yaratırken; mekânın nesnel özellikleri kökten değişir. Bahçede atık olarak duran tekil bir Lego parçası veya çöp poşeti, mikro-bedenler için iklim koşullarından koruyan bir barınak ve mimari sığınak işlevi görerek yeni bir mekânsal eylemsellik kazanır.

3.4. The Incredible Shrinking Man (1957)

Jack Arnold'ın yönettiği 1957 yapımı *The Incredible Shrinking Man*, gizemli bir sis bulutuna maruz kaldıktan sonra durmaksızın küçülen Scott Carey'nin fiziksel, psikolojik ve mekânsal varoluş krizini ele alan klasik bir bilim kurgu yapımıdır. Film, insanın kendi evinde bir yabancıya dönüşmesini ve doğanın nesnel yasaları karşısındaki çaresizliğini işler. Filmin ikinci yarısında (48:00–1:10:00 dakikaları arası) Scott'ın evinin bodrum katında mahsur kaldığı sahneler, ergonominin çöküşünü ve nesne-mekân metamorfozunu gösterir. Bu sahnede dikey sirkülasyonu sağlayan merdiven basamakları, mikro-beden için tırmanılması imkânsız dikey uçurumlara dönüşmektedir. İnsanın kendi evinin bodrumundan çıkamaması ve dikiş kutusu, kibrit, iğne gibi sıradan nesnelerin onu yutabilecek devasa boyutlara ulaşması, tekinsizlik atmosferi yaratır. Standartlara göre tasarlanmış eşyalar orijinal kullanım potansiyellerini kaybederken, beden bu tekinsiz ortamda hayatta kalabilmek için nesnel çevreye yeni mekânsal eylemsellikler yükler. Dikiş kutusu korunaklı bir konut strüktürüne, dikiş iğnesi bir savunma silahına, dikiş ipliği ise tırmanma halatına dönüşür. Sızdıran bir tesisat borusundan damlayan su ise mikro-beden için yıkıcı bir sel afeti üreterek mimari kabuğun koruyuculuğunu yok eder.

3.5. Downsizing (2017)

Alexander Payne'in yönettiği 2017 yapımı *Downsizing*, aşırı nüfus ve iklim krizine çözüm olarak insanların 1/12 ölçeğinde küçültüldüğü bir geleceği konu alır. Film, küçülmenin getirdiği ekonomik avantajlarla lüks bir yaşama kavuşacağını inanan Paul Safranek'in hikayesi üzerinden kapitalist tüketim kültürünü ve sınıfsal eşitsizlikleri eleştirir. Filmin 1:12:00–1:20:00 dakikaları arasında lüks site Leisureland ile onu çevreleyen devasa beton duvarın arkasındaki gecekondu bölgesinin gösterildiği sahne, sosyo-mekânsal ayrışmanın ölçeklenmesini analiz eder.

Bu sahnede mikro-bedenler için inşa edilen steril ve lüks konut kurgusu, devasa güvenlik duvarının arkasındaki sıkışık konteynır kent ile kesintiye uğrar. Küçültülmüş bedenlerin sığındığı "ütopik sürdürülebilir kent" vaadi, duvarın arkasındaki yoksulluk ve sıkışmışlıkla tekinsiz bir tezatlık üretir; evcil ve steril sanılan sterilize kent, sınıfsal ayrışmanın soğuk yüzüyle yabancılaşır. Standart bir nakliye konteynırı, mikro-bedenler için yüzlerce insanın barındığı devasa bir toplu konut bloğu olarak yeni bir mekânsal eylemsellik kazanır. Beden ölçeğinin 1/12'ye düşmesi kaynakların kullanımını azaltsa da, mekânın beden üzerindeki sınıfsal ve politik ayrımı ölçekten bağımsız olarak devam etmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, mimarlık ve sinema arakesitinde bedenın aşırı büyüdüğü ve küçüldüğü kurgusal durumlar mekansal deşifre yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda şu temel bulgulara ulaşılmıştır:

- **Mekân Sabit Değil, Esnektir:** Mimarlık teorisinin aksine mekân; sınırları duvarlarla çizilmiş pasif ve nötr bir kapsayıcı değildir. Mekânın hacmi, sınırları, işlevi ve anlamı, içine giren bedenın ölçeğı ve eylemselliğı ile eş zamanlı olarak yeniden üretilen dinamik bir kurgudur.
- **Sinema Bir Mimari Laboratuvarıdır:** Sinema mecrası, fiziksel dünyada imkânsız olan beden-mekân manipölasyonlarını simüle ederek mimarlık disiplinine kendi normatif kabullerini (antropometri, ergonomi, ölçek) dışarıdan bir gözle sorgulama imkânı sunar.
- **Normatif Ergonominin Çöküşü:** Beden normatif ölçüsünü kaybettiğinde standart olarak tasarlanmış kapı, pencere, merdiven ve mobilya gibi mimari elemanlar işlevini yitirerek birer engel sistemine dönüşür.
- **Sosyo-Mekânsal Statünün Sürekliliğı:** Beden ölçeğinin küçülmesi kaynak kullanımını azaltsa da kapitalist mekân kurgusunu ve sınıfsal ayrımı yok etmez; sosyo-politik sınırlar ölçeklenerek varlığını korur.

Özetle çalışma; beden normatif ölçüsünü kaybettiğinde mimarinin sabit bir kabuk olmaktan çıkıp bedenle sürekli müzakere halinde olan esnek bir topoğrafyaya dönüştüğünü ortaya koymaktadır.

4. KAYNAKÇA

- Bruno, G. (2002). *Atlas of emotion: Journeys in art, architecture, and film*. Verso.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin.
- Le Corbusier. (1954). *The Modulor: A harmonious measure to the human scale, universally applicable to architecture and mechanics*. Harvard University Press.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Éditions Gallimard.
- Neufert, E. (1936). *Bauentwurfslehre*. Bauverlag.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. Basic Books.
- Pallasmaa, J. (2005). *The eyes of the skin: Architecture and the senses*. John Wiley & Sons.

- Pallasmaa, J. (2012). *The architecture of image: Existential space in cinema*. Building Information Ltd.
- Penz, F. (2017). *Cinema and architecture: Connecting making and knowing*. Routledge.
- Vidler, A. (1992). *The architectural uncanny: Essays in the modern unhomely*. MIT Press.
- Vitruvius. (1914). *The ten books on architecture* (M. H. Morgan, Çev.). Harvard University Press. (Orijinal eser İÖ 1. yy'da yayımlanmıştır).
- Wittkower, R. (1998). *Architectural principles in the age of humanism*. Academy Editions.
- Filmografik Kaynaklar ve Erişilebilirlik Künyeleri**
- Arnold, J. (Yönetmen). (1957). *The Incredible Shrinking Man* [Film]. Universal Pictures. Erişilebilir adres / Künye: <https://www.imdb.com/title/tt0050539/>
- Burton, T. (Yönetmen). (2010). *Alice in Wonderland* [Film]. Walt Disney Pictures & Roth Films. Erişilebilir adres / Disney+: <https://www.disneyplus.com> / IMDb: <https://www.imdb.com/title/tt1014759/>
- Johnston, J. (Yönetmen). (1989). *Honey, I Shrunk the Kids* [Film]. Walt Disney Pictures & Silver Screen Partners III. Erişilebilir adres / Disney+: <https://www.disneyplus.com> / IMDb: <https://www.imdb.com/title/tt0097523/>
- Payne, A. (Yönetmen). (2017). *Downsizing* [Film]. Paramount Pictures & Ad Hominem Enterprises. Erişilebilir adres / Paramount / Netflix: <https://www.netflix.com> / IMDb: <https://www.imdb.com/title/tt1389072/>
- Whittarmore, P. (Yönetmen). (1996). *Gulliver's Travels* [Televizyon Minidizisi/Film]. Jim Henson Productions & Hallmark Entertainment. Erişilebilir adres / IMDb: <https://www.imdb.com/title/tt011519>

**GÖZÜN EGEMENLİĞİNDEN TENİN DOKUSUNA: YOZGAT BOZOK
ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ BİNASI
ÖRNEKLEMİNDE FENOMENOLOJİK MEKAN OKUMASI**

Öğr. Gör. Ayşegül KOÇ ÜNLÜSOY

Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of
Architecture, Yozgat

ORCID ID: 0000-0003-3871-0182

ÖZET

Bu çalışma, modern mimarlıkta hakim olan okülermerkezci yaklaşımın ötesine geçerek, mekânın bedensel ve duyuşal boyutlarını Juhani Pallasmaa'nın Tenin Gözleri kavramı çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Mekanın yalnızca izlenen birer nesne değil; duyuşal algılarla bütünleşen bir "plasman" olduğu varsayımından hareketle, Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binası ten ve göz etkileşimi üzerinden yeniden okunmaktadır. Çalışmanın kapsamı, Yozgat'ın sert karasal iklimi ve özgün topoğrafik yapısı içinde konumlanan fakülte binasının brüt malzeme dokuları, ışık-gölge kurgusu, sirkülasyon hatları ve hacimsel/akustik nitelikleri ile sınırlandırılmıştır. Araştırmada yöntem olarak oto-etnografik ve fenomenolojik mekân analizi benimsenmiştir. Araştırmacının kişisel bedensel deneyimlerine dayanan bu süreçte; yapının malzeme nitelikleri, rüzgâr ve sıcaklık geçişleri ile akustik katmanları yerinde yapılan gözlemler ve duyuşal tespitler aracılığıyla incelenmiştir. Elde edilen mekânsal tespitler, sert coğrafi ve iklimsel koşullarda mimari malzemenin dokusunun ve ışık kırılımlarının, mekânı yalnızca görsel veya işlevsel bir kabuk olmaktan çıkarıp bedensel hafızada iz bırakan nitelikli bir duyuşal deneyim alanına dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Duyuşal Mekan ,Duyuşal Algı, Mimari Plasman

**FROM OCULARCENTRISM TO TACTILE SPACE: A PHENOMENOLOGICAL
READING OF YOZGAT BOZOK UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING**

ABSTRACT

Moving beyond the dominant ocularcentric approach in modern architecture, this study aims to examine the bodily and sensory dimensions of space within the framework of Juhani Pallasmaa's concept of the "Eyes of the Skin". Based on the premise that space is not merely an object to be observed, but a placement integrated with sensory perceptions, the Faculty of Engineering and Architecture building at Yozgat Bozok University is re-read through the interplay of touch and vision. The scope of the study is framed by the raw material textures, light-shadow compositions, circulation pathways, and volumetric/acoustic characteristics of the faculty building, situated within Yozgat's harsh continental climate and distinct topographical structure. An auto-ethnographic and phenomenological spatial analysis approach is adopted as the methodology. In this process grounded in the researchers personal bodily experience, the material qualities of the structure, wind and temperature transitions, and acoustic layers were examined through on-site observations and sensory readings. The resulting spatial findings reveal that in harsh geographical and climatic conditions, the texture of

architectural materials and the refractions of light transform the space from a merely visual or functional shell into a sensory space that leaves an imprint on bodily memory.

Keywords: Sensory Space, Sensory Perception, Architectural Placement, Yozgat Bozok University

1. GİRİŞ

Mimarlık ve kent kuramında mekânın algılanması uzun yıllar boyunca görme duyusunun egemenliği (okülermerkezcilik) altında değerlendirilmiştir (Jay, 1993; Pallasmaa, 2012). Ancak 20. yüzyılın ortalarından itibaren felsefi fenomenoloji ve çevresel psikoloji alanındaki gelişmeler, mekânsal tecrübenin sadece görsel bir izleme eylemi olmadığını, aksine çok duyulu (multisensory) ve bedensel bir süreç olduğunu ortaya koymuştur (Gifford, 2014; Merleau-Ponty, 1945/2012). Bu dönüşümle birlikte mekân, nesnelleştirilmiş bir izleme alanı olmaktan çıkarak insanın dokunsal, işitsel, kinestezik ve iklimsel algılarıyla bütünleştiği bütüncül bir yaşantı alanına dönüşmüştür (Rodaway, 1994; Tuan, 1977). Görsel odaklı mimarlık anlayışına en köklü eleştiriyi getiren Merleau-Ponty (1945/2012), algının zihinsel veya soyut bir süreç değil, bedenleşmiş bir eylem olduğunu savunmuştur. Merleau-Ponty'ye göre insan, dünyayı ve mekânı nesnelleştirilmiş bir "göz" ile değil, kendi bedeninin dokunsal, devinimsel ve duyusal varlığı üzerinden deneyimler. Beden, mekânı algılayan harici bir aygıt değil; mekânın bizzat içinde var olduğu ve mekânı üreten temel merkezdir (Lefebvre, 1991).

Görsel algının bu egemenliğini mimarlık teorisi bağlamında sarsan en önemli figür Juhani Pallasmaa olmuştur. Pallasmaa (1996/2012), Tenin Gözleri adlı eserinde Batı mimarlık geleneğindeki aşırı görselleşmeyi "gözün tiranlığı" olarak tanımlar. Pallasmaa, nitelikli bir mimarının dokunma, işitme, koku ve sıcaklık hissi gibi tüm duyuları harekete geçirmesi gerektiğini vurgular. Dokunma duyusunu algının ontolojik temeli olarak gören yazar, gözün dahi aslında "uzaktaki dokunma" eylemini gerçekleştirdiğini iddia eder. Mekânın bedensel deneyimlenmesi ve varoluşsal "yer" kavrayışı, Norberg-Schulz (1980) tarafından Genius Loci kavramı üzerinden ele alınırken; Tuan (1977) ise soyut "mekânın", insani duyular, duygular ve yaşanmışlıklar katıldığında anlamlı bir "yere" dönüştüğünü ifade eder. Rasmussen (1959/1964) ve Holl (2000) ise harekete bağlı kinestezik tecrübe ile akustik ve ışık kırılımlarının mekân algısındaki bütüncü ve dinamik rolünü vurgular.

Doku ve malzemenin duyusal algıdaki rolü söz konusu olduğunda, Pallasmaa ve Peter Zumthor'un kuramsal yaklaşımları birbirini tamamlayan güçlü bir zemin sunar. Pallasmaa (2012), modern mimarlığın steril, pürüzsüz ve zamansız görünen yüzeylerini eleştirerek; malzemenin yaşlanma, aşınma ve dokunsal niteliklerinin bedensel hafızayı harekete geçirdiğini savunur (Casey, 1987). Ona göre ahşabın sıcaklığı, taşın pürüzlü sertliği veya betonun soğuk küteselliği, mekânı izleyenden bağımsız bir nesne olmaktan çıkarıp onun dokunma duyusu (haptic sense) üzerinden mekâna kök salmasını sağlar. Peter Zumthor (2006) ise Atmospheres adlı eserinde malzemelerin yalnızca görsel birer kaplama unsuru olmadığını, kendilerine özgü bir "sesi, kokusu ve sıcaklığı" bulunduğunu vurgular. Zumthor'a göre bir yapıda doğru malzemelerin bir araya getirilmesi, mekânın iklimsel ve fiziksel koşullarıyla girdiği etkileşim sonucunda somutlaşır; malzemenin yüzey dokusu ve ışığı yansıtma biçimi, ziyaretçide anlık ve derin bir bedensel yankı uyandırır (Böhme, 1993).

Son dönemde Böhme (1993, 2017) ve Mallet (2004) gibi araştırmacıların "mimari atmosfer" kavramsallaştırmasıyla genişleyen bu duyusal zemin, yapının fiziksel varlığının beden üzerindeki bütüncül etkisini görünür kılar. Bu çalışmanın temel amacı; belirtilen kuramsal süzgeçten hareketle, Yozgat'ın sert karasal ikliminde ve özgün topoğrafyasında yer alan Yozgat

Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasını incelemektir. Yapı; brüt malzeme dokuları, ışık-gölge kurgusu, sirkülasyon hatları ve iklimsel/akustik katmanları üzerinden ele alınarak, mekânın yalnızca görsel bir nesne veya işlevsel bir kabuk değil, "ten ve göz" etkileşimiyle üretilen bir "plasman" alanı olduğunu ortaya koyacaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, niteliksel ve bedensel katmanları açığa çıkarmayı hedefleyen nitel bir araştırma tasarımı benimsenmiştir. Araştırma, araştırmacının mekânla kurduğu doğrudan, katmanlı ve zamansal ilişkiyi merkeze alan oto-etnografik ve öz-fenomenolojik mekân analizi yöntemine dayanmaktadır. Fenomenolojik yaklaşım, mekânı zihinsel bir soyutlama veya yalnızca geometrik bir kurgu olarak değil; insan bedeninin mekânda bulunuşu, hareketleri ve duysal temasları aracılığıyla şekillenen "yaşanan tecrübe" üzerinden ele almayı gerektirir (Merleau-Ponty, 1945/2012). Oto-etnografi ise araştırmacının kendi öznel tecrübelerini, bedensel tepkilerini ve mekânsal tespitlerini sistematik bir veri kaynağına dönüştürmesine olanak tanır (Ellis et al., 2011). Bu doğrultuda çalışma için; Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasında uzun süreli, tekrarlayan ve odaklanmış alan çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Saha araştırması ve veri toplama süreci üç temel aşamada yürütülmüştür:

- Duyusal ve Dokunsal Saha Gözlemleri : Pallasmaa'nın (2012) kuramından hareketle yapının dokunsal haritası çıkarılmıştır. Brüt beton, taş, metal ve cam malzeme yüzeyleri; pürüzlülük, pürüzsüzlük, sıcaklık/soğukluk ve yaşlanma nitelikleri açısından doğrudan temas yoluyla incelenmiştir.
- İklimsel ve Mikro-Klimalı Deneyim Tespiti: Yozgat'ın sert karasal iklimi ve rüzgâr yükü altında, binanın giriş kurgusu, iç-dış mekân geçiş alanları ve sirkülasyon hatlarında rüzgârın ve Isı farklarının beden üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.
- Işık, Gölge ve Akustik Analiz: Dikey ve yatay sirkülasyon hatlarında doğal ışığın kırılımı, gölge yoğunlukları, hacimsel büyüklüğün yarattığı akustik yankı ve sessizlik alanları duysal olarak analiz edilmiştir. Veriler; saha notları, duysal gözlem şemaları ve fotoğraflar aracılığıyla Pallasmaa (2012) ve Zumthor'un (2006) kavramlarıyla eşleştirilerek tematik olarak çözümlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

- Oto-etnografik ve öz-fenomenolojik alan gözlemleri sonucunda elde edilen veriler, Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasının yalnızca nesnel bir mimari form veya işlevsel bir kabuk olmadığını; bedensel temas, işitsel peyzaj, iklimsel katmanlar ve zamansal döngüler aracılığıyla üretilen dinamik bir "yaşantı alanı" olduğunu ortaya koymuştur. Oto-etnografik ve öz-fenomenolojik alan gözlemleri sonucunda elde edilen veriler, Pallasmaa'nın (2012) duysal mekân parametreleri doğrultusunda beş ana tema altında çözümlenmiştir.

3.1. Doku, Dokunsallık ve Malzemenin Zamanı

Pallasmaa'nın (2012) dokunsallık kuramı uyarınca yapının beton, taş, metal, ahşap, seramik, plaster/sıva ve cam yüzeyleri; pürüzlülük, pürüzsüzlük, sıcaklık/soğukluk ve malzemenin zaman içerisindeki yaşanmışlığı açısından incelenmiştir. Fakülte binasına yaklaşım aksındaki taş döşemeler zamansız ve pürüzsüz modern yüzey anlayışının aksine; zamanla, sert iklim koşullarıyla ve insan adımlarıyla aşınarak boşluklar oluşturmuştur. Basıldığında çıkan sesler ve yerdeki taşların dengesizliği adımların ritmini yavaşlatarak kullanıcının kendi bedenini ve zeminin pürüzlü hissini doğrudan algılamasını sağlar. Benzer şekilde yapının duvar, döşeme

tavan, pencere gibi bileşenlerindeki aşınma izleri, Pallasmaa'nın (2012) patina kavramsallaştırmasını doğrular. Dış cephe kurgusunda yer alan pencere söveleri, girintiler ve çatı saçakları, kuşlar tarafından yuva alanı olarak benimsenmiştir. Kuşların pencere pervazlarında tünemesi, yüzeylerde bıraktıkları organik izler ve bina kabuğu üzerindeki hareketleri; yapının katı, steril beton-sıva yüzeyine canlı ve organik bir dokunsal katman ekler. Bu durum, mimari malzemenin yalnızca insan bedeniyle değil, insan dışı doğa unsurlarıyla da etkileşime girerek zamanla canlı bir habitat dokusu kazandığını gösterir. Yapının koridorlardaki daki parlak seramik zemin, amfi derslikteki ahşap-metal modüler sıralar ve çizim atölyelerindeki pürüzsüz beyaz masalar; kurumsal yapının homojen ve endüstriyel dokunsallığını temsil eder. Pallasmaa'nın (2012) eleştirdiği bu steril yüzeyler dokunsal sıcaklığı zayıflatırken, iç ve dış avludaki pürüzlü doğal taş kaplamalar, ahşap köprü elemanları ve bitki dokusu yapının katı cam-beton kabuğuna zıt, organik ve dokunsal bir sığınak sunar. Yapı içi düşey sirkülasyonu sağlayan rampalarda parlak seramikten bantlarla dokusu ve renkle görseli belirginleşen karolara geçiş, ayak tabanında ve adım ritminde belirgin bir dokunsal kırılma üretir. Resmi işlevinin ötesinde öğrenciler tarafından bir dinlenme ve alternatif çalışma alanına dönüştürülen mescit mekânı ise 'ev' algısının en somut örneğidir. Mekâna girerken ayakkabıların çıkarılması eylemi, beden ile yapı arasındaki sert katmanı ortadan kaldırarak bedenin halı yüzeyiyle doğrudan temas etmesini sağlar; sert brüt beton ve mermer koridorların ardından bedene doğrudan bir mahremiyet ve fiziksel konfor alanı sunar.

3.2. Gölgenin İcadı, Loşluk ve Işığın Şiirselliği

Yapı odağında yer alan avlu kurgusu, havuz ve yapay derenin varlığı, dış çevre etkenleri ve ışık hareketleriyle birleşerek dinamik bir görsel-duyusal odak üretmektedir. Avlu içerisindeki su yüzeyinden kırılan gün ışığının cephelerde ve tavan yüzeylerinde yarattığı yansımalar durağan mimari elemanları hareketli birer gölge ve ışık sahnesine dönüştürür. Kullanıcı sirkülasyon hatlarında hareket ettikçe ışık ve perspektif kesintisiz yenilenir. Dış cephe pervazlarında duran ve havalanan kuşların iç mekân camlarına düşen hareketli gölgeleri, gün ışığı yansımalarıyla birleşerek koridorlara sürekli değişen doğal bir gölge sahneliği katar. Gün içerisindeki aktif ders saatlerinde görsel niteliklerin baskın olduğu kurgu, akşam yapay ışıkların sönmesiyle yerini derin bir loşluğa bırakır. Kararan fakülte koridorları görsel detayları silikleştirerek Pallasmaa (2012) ve Böhme'nin (1993, 2017) vurguladığı derin gölge atmosferini ortaya çıkarır ve bedeni mekânın saf boşluğuyla baş başa bırakır.

3.3. Mekânın Sesi ve Akustik Mahremiyet

Fakülte binasındaki ses peyzajı çevresel doğa unsurlarından, canlı varlığından ve yapının iç organizasyonundan beslenen zengin bir işitsel topoğrafya sunmaktadır. Binanın çevresini saran yeşil alanlar, dereden yükselen su sesleri ve avludaki fıskiye sesleri karasal coğrafyadaki kütleye canlı bir işitsel katman ekler; suyun sesini iç mekânlara taşıyarak bütüncül bir işitsel ortam üretir. Cephe sövelerinde ve çatıda barınan kuşların kanat çırpışları ve ötüşleri, pencere açıklıklarından koridorlara sızarak binanın katı ve sert akustik hacmine çok türler arası dinamik bir ses katmanı ekler. Gündüz kantin, amfi ve koridorlardaki insan sesleri, akşam yerini derin bir sükûnete bırakır. Pallasmaa'ya (2012) göre sessizlik bir yokluk değil, kütleyi duyumsatan bir varlıktır; tenhalıkta adımların yankısı yapının hacimsel boyutlarını belirgin kılar (Rasmussen, 1964). Nitekim mescit mekânının gürültülü koridorlara kıyasla halı kaplı yapısıyla sunduğu "akustik yutuculuk ve sığınak" ortamı, öğrencilerin bu alanı ses konforu nedeniyle dinlenme amacıyla tercih etmelerinin en temel işitsel gerekçesidir (Böhme, 2017).

3.4. İklimsel Sınır ve Bedenin Sıcaklığı

Yozgat'ın sert karasal iklimi ve rüzgâr yükü, yapının dış-ıç mekân geçişlerinde bedensel farkındalığı en üst düzeye çıkaran iklimsel bir eşik oluşturur. Fakülte giriş kapılarının hâkim rüzgâr yönlenmesinde yer alması, dışarıdaki dondurucu rüzgâr baskısı ile binanın içindeki korunaklı, kütsel sıcaklık arasında keskin bir kontrast yaratır. Beden, dışarıdan iç mekânın termal konforuna geçtiğinde mekânın sınırlarını sıcaklık hissi üzerinden deneyimler. Acil durum işlevinin ötesinde öğrenciler tarafından sigara içme ve teneffüs alanına dönüştürülen yangın merdivenleri; tütün kokusu, dışarıdan gelen soğuk hava akımı ve rüzgârın birleştiği özgün bir koku coğrafyası ve iklimsel bariyer oluşturur. Bu yarı-kapalı alanlar duysal yoğunluğu yüksek bir "eşik mekâna" dönüşmektedir.

3.5. Kinestezik Deneyim: Bedenin Mekândaki Hareketi ve Ölçek

Yemekhane, kantin, merdivenler, rampa aksı ve galeri boşlukları gibi dikey/yatay sirkülasyon hatları, yapıda bedensel hareketliliğin tepe noktasına ulaştığı sosyo-mekânsal düğüm noktalarıdır. Ders aralarında gerçekleşen yoğun insan trafiği, mekânı adımların, karşılaşmaların ve yönelimlerin biçimlendirdiği "bedenleşmiş bir eylem" alanına dönüştürür. Kullanıcı avlu çevresinde, galeri boşluklarında ve merdivenlerde hareket ettikçe bedenin aks değiştirmesiyle mimari sürekli yeniden üretilir. Sirkülasyon alanlarındaki bu hareketlilik, kullanıcının yapının anıtsal ölçeği ve kütsel varlığıyla adımların ritmi üzerinden doğrudan bağ kurmasını sağlar.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binası özelinde gerçekleştirilen oto-etnografik ve öz-fenomenolojik mekân analizi; yapının modern mimarlık söylemlerinin sıklıkla düştüğü biçimsel ve görsel nesneleşmenin ötesinde, çok duyulu bir yaşantı alanı olduğunu ortaya koymuştur. Juhani Pallasmaa'nın Tenin Gözleri çerçevesinde kurgulanan kuramsal zemin; doku, ışık-gölge, akustik peyzaj, iklimsel eşikler ve kinestezik hareketlilik katmanlarının bir araya gelerek insanın mekânla kurduğu ontolojik bağı nasıl şekillendirdiğini görünür kılmıştır.

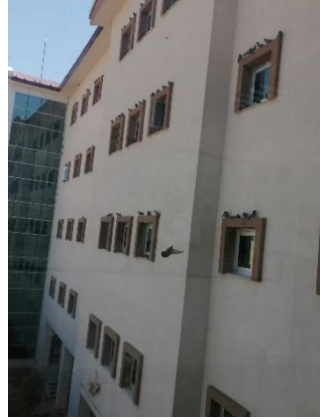
Elde edilen bulgular, mekânsal tecrübenin ve varoluşsal "plasman" eyleminin yalnızca görsel algı üzerinden gerçekleşmediğini doğrulamaktadır. Yozgat'ın sert karasal ikliminde ve hâkim rüzgâr ekseninde biçimlenen giriş kurgusu, bedeni dondurucu soğuktan koruyarak termal bir sığınak işlevi görmekte; yapının brüt beton, taş ve ahşap yüzeylerindeki dokunsal nitelikler ile aşınma izleri bedensel hafızayı harekete geçirmektedir. Yapının avlusundaki su sesi ve ışık yansımaları gün içerisinde dinamik bir duysal odak üretirken, sirkülasyon hatlarında zamana bağlı olarak yükselen veya sönümlenen ses katmanları yapının hacimsel boyutlarını zihinde yeniden inşa etmektedir.

Araştırmanın sunduğu en özgün katkılardan biri de işlevsel tasarım şemaları ile duysal mekân kullanımı arasındaki kırılmanın görünür kılınmasıdır. Yangın merdivenlerinin tütün kokusu ve rüzgâr akımı eşliğinde gayriresmî bir sosyalleşme eşğine dönüşmesi; mescit mekânının ise sunduğu akustik yutuculuk, dokunsal yumuşaklık ve sığınak alanına bürünmesi, kullanıcıların mekânı resmi programın ötesinde duysal konfor parametreleri uyarınca yeniden sahiplendiğini kanıtlamaktadır.

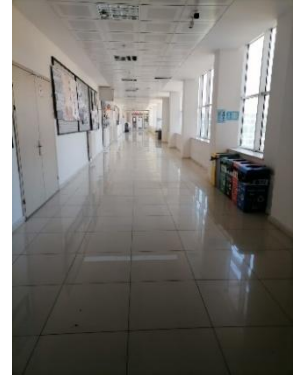
Sonuç olarak; Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binası, görme duyusunun egemenliğine dayalı okülermerkezci anlayışın aksine, "ten ve göz" etkileşimiyle üretilen, zaman ve iklimle dönüştürülen bütüncül bir "plasman" alanıdır. Bu çalışma, mimari tasarım ve değerlendirme süreçlerinde yalnızca görsel formun ve geometrik kurgunun değil; malzemenin sesinin, yüzeyin dokusunun, iklimsel eşiklerin ve bedensel kinestezi imkânlarının merkeze alınması gerektiğini gösteren nitel ve kuramsal bir örnek sunmaktadır.

EK: FAKÜLTE FOTOĞRAFLARI

Fotoğraf 1: Yozgat Bozok Üniversitesi Müh. Mim. Fakülte Binası



Fotoğraf 2-3: Yozgat Bozok Üniversitesi Müh. Mim. Fakülte Binası Avlusu ve Dış Cephe Kuş Yuvaları



Fotoğraf 4-5-6: Yozgat Bozok Üniversitesi Müh. Mim. Fakülte Binası anfi , rampa ve koridor fotoğrafları

4. KAYNAKÇA

- Böhme, G. (1993). Atmosphere as the fundamental concept of a new aesthetics. *Studia Phaenomenologica*, 13(2), 113–126.
- Böhme, G. (2017). *Atmospheric architectures: The aesthetics of felt spaces* (A.-Chr. Engels-Schwarzpaul, Ed. & Trans.). Bloomsbury Academic.
- Casey, E. S. (1987). *Remembering: A phenomenological study*. Indiana University Press.
- Ellis, C., Adams, T. E., & Bochner, A. P. (2011). Autoethnography: An overview. *Historical Social Research*, 36(4), 273–290.
- Gifford, R. (2014). *Environmental psychology: Principles and practice* (5th ed.). Optimal Books.
- Holl, S. (2000). *Parallax*. Princeton Architectural Press.
- Jay, M. (1993). *Downcast eyes: The denigration of vision in twentieth-century French thought*. University of California Press.
- Lefebvre, H. (1991). *The production of space* (D. Nicholson-Smith, Trans.). Blackwell. (Original work published 1974).
- Mallet, D. (2004). Architecture of the senses. *Architectural Design*, 74(3), 12–19. <https://doi.org/10.1002/ad.269>
- Merleau-Ponty, M. (2012). *Phenomenology of perception* (D. A. Landes, Trans.). Routledge. (Original work published 1945).
- Norberg-Schulz, C. (1980). *Genius Loci: Towards a phenomenology of architecture*. Rizzoli.
- Pallasmaa, J. (2012). *The eyes of the skin: Architecture and the senses* (3rd ed.). John Wiley & Sons. (Original work published 1996).
- Rasmussen, S. E. (1964). *Experiencing architecture* (2nd ed.). MIT Press. (Original work published 1959).
- Rodaway, P. (1994). *Sensory geography: Psychology, metaphor and the senses*. Routledge.
- Tuan, Y.-F. (1977). *Space and place: The perspective of experience*. University of Minnesota Press.
- Zumthor, P. (2006). *Atmospheres: Architectural environments - Surrounding objects*. Birkhäuser.

SEKİZGEN PLAN GEOMETRİLİ 10 KATLI BİR YAPIDA RÜZGÂR ETKİLERİNİN YÖNETMELİK VE CFD ANALİZLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mai ALARJAH

Karabük University, The Institute of Graduate Programs, Department of Civil Engineering

ORCID ID: 0009-0001-6124-3992

Asst. Prof. Dr. Mehmet Fethi ERTENLİ

Karabük University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Civil Engineering

ORCID ID: 0000-0002-7310-8720

Asst. Prof. Dr. Mehmet Haşim KISA

Karabük University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Civil Engineering

ORCID ID: 0000-0003-4769-2211

ÖZET

Rüzgâr etkileri, özellikle yüksek katlı ve narin yapıların taşıyıcı sistemlerinde önemli yatay yükler oluşturarak yapısal dayanım, stabilite ve servis koşullarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, yapıların güvenli ve ekonomik tasarımı açısından rüzgâr yüklerinin doğru belirlenmesi ve yapı üzerindeki dağılımının güvenilir biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Suudi Arabistan'ın Cidde kentinde konumlandırılan, sekizgen plan geometrisine sahip 10 katlı bir yapının rüzgâr etkileri iki farklı yaklaşımla incelenmiştir. İlk aşamada, yapının bulunduğu bölge için ASCE 7 standardında verilen rüzgâr hızı haritası esas alınarak tasarım rüzgâr hızı belirlenmiştir. Bu rüzgâr hızı kullanılarak kat seviyelerine etkiyen rüzgâr kuvvetleri ASCE 7 esasları doğrultusunda analitik olarak hesaplanmış ve elde edilen yükler SAP2000 yapısal analiz programına aktarılmıştır. Yapının taşıyıcı sistem analizi gerçekleştirilerek kat seviyelerindeki yatay rüzgâr kuvvetleri ve yapısal tepkiler belirlenmiştir. İkinci aşamada, aynı bina geometrisi ve tasarım rüzgâr hızı esas alınarak XFlow yazılımı ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizi gerçekleştirilmiştir. CFD analizinden elde edilen yüzey basınçlarının kat seviyelerindeki bileşkeleri kullanılarak her bir kata etkiyen rüzgâr kuvvetleri belirlenmiştir. Böylece, ASCE 7 esaslarına dayalı analitik yaklaşım ile XFlow CFD analizinden elde edilen kat rüzgâr kuvvetleri doğrudan karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre CFD analizinden elde edilen toplam rüzgâr kuvvetinin ASCE 7 sonucuna göre yaklaşık %52 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Katlar bazındaki karşılaştırmalarda da benzer azalım ve artışların görülmesi, iki yöntemin de rüzgâr yüklerinin yapı yüksekliği boyunca dağıtım karakteri bakımından birbirleriyle uyumlu olduğunu göstermiştir. İncelenen yapı modelinde ASCE 7 yaklaşımının CFD sonuçlarına kıyasla daha düşük rüzgâr kuvvetleri ön gördüğü görülürken, CFD analizinin sekizgen yapı geometrisi etrafında gelişen akış alanını ve yüzey basınç dağılımlarını ayrıntılı olarak değerlendirilmesine olanak sağladığı gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, yönetmelik tabanlı analitik yöntemlerin yapısal tasarım açısından etkin bir yaklaşım sunduğunu, ancak konservatif olamayabileceğini; CFD analizlerinin ise özellikle standart dışı plan geometrilerine sahip yapılarda geometriye bağlı aerodinamik etkilerin ayrıntılı olarak incelenmesinde tamamlayıcı bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Rüzgâr kuvvetleri, çok katlı yapılar, CFD, ASCE 7, yapısal analiz

ASSESSMENT OF WIND EFFECTS ON A 10-STORY BUILDING WITH AN OCTAGONAL PLAN GEOMETRY USING CODE-BASED AND CFD ANALYSES

ABSTRACT

Wind effects can directly impact structural strength, stability, and service conditions by generating significant lateral loads, particularly in the structural systems of high-rise and slender buildings. Therefore, for the safe and economical design of structures, it is essential to accurately determine wind loads and reliably assess their distribution across the structure.

In this study, the wind effects on a 10-story building with an octagonal plan located in Jeddah, Saudi Arabia, were examined using two different approaches. In the first stage, the design wind speed was determined based on the wind speed map provided in the ASCE 7 standard for the region where the building is located. Using this wind speed, the wind forces at each floor level were calculated analytically in accordance with ASCE 7 principles, and the resulting loads were imported into SAP2000 for structural analysis. A structural analysis of the building's load-bearing system was performed to determine the horizontal wind forces and structural responses at each floor level. In the second stage, a Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis was conducted using XFlow software, based on the same building geometry and design wind speed. The wind forces acting on each floor were determined using the resultant surface pressures at each floor level obtained from the CFD analysis. Thus, the floor wind forces obtained from the XFlow CFD analysis were directly compared with those from the analytical approach based on ASCE 7 principles. According to the comparison results, it was determined that the total wind force obtained from the CFD analysis was approximately 52% greater than the ASCE 7 result. The observation of similar decreases and increases in the comparisons on a floor-by-floor basis demonstrated that the two methods are consistent with each other in terms of the distribution characteristics of wind loads along the building height. While the ASCE 7 approach was found to predict lower wind forces compared to the CFD results for the analyzed building model, it was observed that the CFD analysis allowed for a detailed evaluation of the flow field and surface pressure distributions around the octagonal building geometry. The findings indicate that code-based analytical methods offer an effective approach for structural design but may not be conservative; CFD analyses, on the other hand, can be used as a complementary method for the detailed examination of geometry-dependent aerodynamic effects, particularly in structures with non-standard plan geometries.

Keywords: Wind forces, multi-story buildings, CFD, ASCE 7, structural analysis

1. GİRİŞ

Yapıların tasarımında rüzgâr yükleri yapı yüksekliğine bağlı olarak göz ardı edilmeyecek seviyelerde olabilmektedir. Yapı yüksekliği az olan yapılarda bu etkiler, yapının mevcut rijitliği ve dayanımıyla rahatlıkla karşılanabilmekte olup tasarımcıların rüzgâr yükünü kritik bir yük durumu olarak incelemelerini gerektirmemektedir. Çünkü sismisitesi yüksek bölgelerde inşa edilen yapıların tasarım aşamasında yanal yük olarak dikkate alınan deprem etkileri rüzgâr yüklerine göre çok daha büyük etkiler oluşturduğu için rüzgâr yükleri daha kritik bir durumu temsil etmemektedir. Ancak yüksek veya narin yapılarda, rüzgâr yüklerinden kaynaklanan bina hareketi algısı ve kullanıcı konforuna yönelik talepler, tasarımcıları rüzgâr yüklerinin etkilerini incelemeye ve dikkate almaya yöneltmektedir (Abu-Zidan vd. 2022). Bunların yanında, rüzgâr etkilerinin yapı geometrisi sebebiyle (cephelerin farklı açılarda konumlandırılması gibi) karmaşıklaşması rüzgârın yapı çevresindeki akışının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü

geometrik farklılıklar nedeniyle bazı cephelerde basınç bölgelerinin oluşması, bazılarında ise emme etkilerinin ortaya çıkması mümkündür. Bu nedenle rüzgâr yüklerinin yapı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi güvenli ve ekonomik bir tasarımın gerçekleşmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Atmosfer içerisinde hareket eden hava akımları, önüne gelen bir yapıyla karşılaştığında, yapıyla doğrudan temas ettiği yüzeylerde pozitif basınç oluştururken, yapının yan ve arka yüzeylerinden ayrılırken emme kuvvetleri (negatif basınç) de oluşturabilmektedir. Oluşan hava akımları neticesinde iz bölgesinin gelişiminde (kuyruk türbülansının oluşumunda) en temel unsurlar rüzgarın karşılaştığı yapının köşe geometrisi ve plan şekli olmaktadır (Meena vd. 2022). Ayrıca rüzgarın geliş açısının yüzey basınç dağılımını belirleyen önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir (Verma vd. 2022). Dolayısıyla, doğru tasarım kararları için rüzgâr etkilerinin yapı üzerindeki dağılımlarının doğru belirlenerek tasarımda dikkate alınması gerekmektedir.

Rüzgâr yüklerinin tasarımlarda göz önünde bulundurulabilmesi için çeşitli standartlarda analitik ve yarı ampirik metotlar geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin kullanılabilmesi için çeşitli parametreler gereklidir. Bunlar: temel rüzgar hızı, yapının bulunduğu topoğrafyanın pürüzlülüğü, yapı yüksekliği, yönlülük ve aerodinamik basınç katsayıları olarak kısaca ifade edilebilir. Bu kapsamda yaygın olarak kullanılan standartlardan biri ASCE/SEI 7'dir. ASCE/SEI 7, farklı yapı sınıf ve geometrilerine yönelik rüzgar etkilerinin belirlenmesi için bir hesaplama yaklaşımı sunarak yapıların güvenli tasarımını kolaylaştırmaktadır. Standartları baz alan bu yöntemlerin en önemli avantajları: daha kolay uygulanabilir olmaları, çok fazla hesaplama gücü istememeleri ve kapsamlı bir yapı grubu için çerçeve olacak bir yaklaşım sunmalarıdır. Bunlarla birlikte, bu yöntemler gerçek hava akışı etkilerini detaylarıyla çözmek yerine, çeşitli idealizasyonlar ve katsayılar yardımıyla temsil etmektedir (Soları 2017). Özellikle dairesel, kare, dikdörtgen gibi planlardan farklı, çok yüzeyli ya da düzensiz geometrileri olan yapılarda rüzgarın farklı cephelerle etkileşimi durumu daha karmaşık hale getirmektedir.

Yapı etrafındaki hava akışının daha ayrıntılı incelenmesinde ve CFD modellerinin doğrulanmasında geleneksel olarak rüzgâr tüneli deneylerinden faydalanılmaktadır (Shirzadi vd. 2019, Tominaga vd. 2021). Bu deneylerde laboratuvar ortamında ölçeklendirilmiş yapı modelleri üzerinden yüzeylerde oluşan basınçlar ve aerodinamik kuvvetler elde edilmektedir. Ancak model üretimi, deney düzeneğinin hazırlanması, ölçüm sistemlerinin oluşturulması ve farklı analiz senaryolarının gereklilikleri hem zaman hem de maliyet açısından önemli gereksinimler oluşturmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ve sayısal çözüm yöntemlerinin gelişmesiyle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi (Computational Fluid Dynamics – CFD) rüzgâr tüneli deneylerini tamamlayan güçlü bir sayısal araç olarak ortaya çıkmıştır. Ancak CFD analizlerinin doğruluğu, hesaplama alanının boyutlarına, giriş (inlet) ve çıkış (outlet) sınır koşullarına, mesh veya parçacık çözünürlüğüne, zaman adımlarına, oluşması beklenen türbülansın modellenme biçimine ve yakın duvar bölgesinin nasıl temsil edildiğine bağlı olan çok sayıda sayısal parametreye bağlıdır. Bu nedenle CFD sonuçlarının, mutlak olarak standartlara dayalı hesaplamalardan daha doğru ve gerçekçi olduğu kabul edilmemeli; elde edilen sonuçlar, kullanılan modelleme kabulleri ve analiz koşulları çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Girişte de bahsedildiği üzere çokgen plana sahip yapılarda rüzgarın yapı çevresindeki davranışı kare veya dikdörtgen planlı yapılara göre farklılık gösterebilmektedir. Özellikle yapılarda rüzgâra maruz kalan yüzeylerin hava akışına farklı doğrultularda konumlandırılması hava akımının birden fazla yüzey boyunca yön değiştirmesine sebep olabilmektedir. Bu durum cepheler arasındaki basınç dağılımını da etkileyebilmektedir. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda, bu çalışma kapsamında, literatürde sekizgen plan geometrisine sahip yapı modeline yönelik çalışmaların daha sınırlı olduğu görülmüştür. Bu amaçla hem CFD hem de standart tabanlı bir yaklaşımın karşılaştırıldığı bir çalışmanın yapılması öngörülmüştür.

Bu çalışmada, Suudi Arabistan'ın Cidde kentinde konumlandırılan, sekizgen plan geometrisine sahip 10 katlı bir yapı üzerindeki rüzgâr etkileri ASCE/SEI 7 standardını esas alan analitik yaklaşım ve XFlow yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen CFD analizi olmak üzere iki farklı yöntemle incelenmiştir. Öncelikle yapının bulunduğu bölge için ASCE/SEI 7 kapsamında tasarım rüzgâr hızı belirlenmiş ve kat seviyelerine etki eden rüzgâr kuvvetleri analitik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen rüzgâr yükleri SAP2000 ortamında oluşturulan yapısal modele aktarılarak taşıyıcı sistem analizi gerçekleştirilmiştir. Ardından aynı yapı geometrisi ve tasarım rüzgâr hızı XFlow ortamında modellenerek yapı çevresindeki akış alanı ve yüzey basınçları belirlenmiş; CFD analizinden elde edilen basınçların kat seviyelerindeki bileşenleri hesaplanarak her bir kata etkileyen yatay rüzgâr kuvvetleri elde edilmiştir.

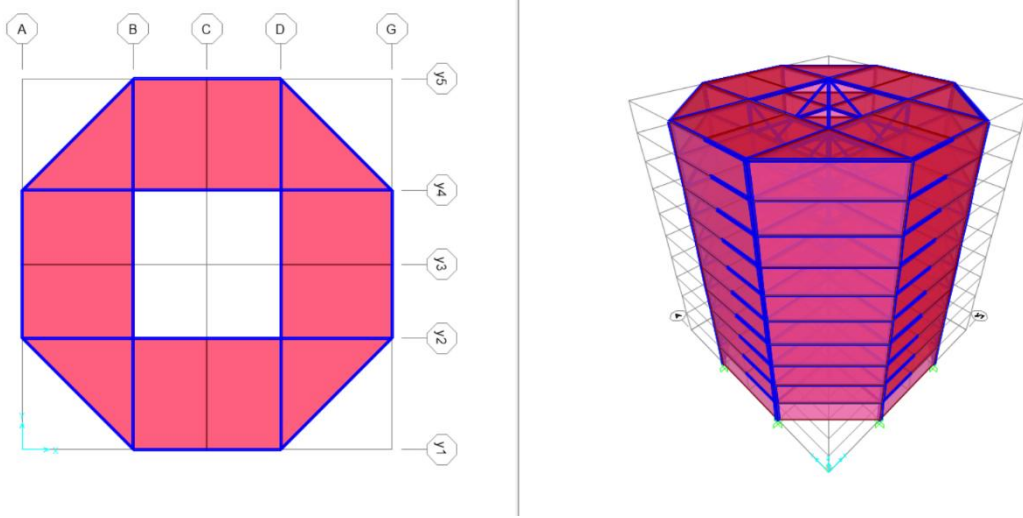
Böylece sekizgen plan geometrisine sahip bir yapıda standartları esas alan analitik yaklaşımın verdiği sonuçların CFD tabanlı basınç dağılımlarıyla ilişkisi incelenmiş ve CFD yönteminin standart dışı geometrilerde rüzgâr etkilerinin ayrıntılı değerlendirilmesindeki tamamlayıcı rolünün ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Metodoloji ve Sayısal Model Kurulumu

Bu çalışmada, sekizgen plan geometrisine sahip 10 katlı ($H=35$ m) çelik bir yapının rüzgâr yükleri altındaki davranışı, ASCE 7 yönetmeliği tabanlı bir hesaplama yöntemi ve sayısal simülasyonlar olmak üzere iki aşamalı bir metodoloji ile incelenmiştir.

2.1.1 SAP2000 Yapısal Modeli ve ASCE 7 Parametreleri: Çalışma kapsamında incelenen yapı, yatay rüzgâr yüklerine karşı gerekli ana rijitliği sağlamak amacıyla merkezde çelik çaprazlarla desteklenmiş çekirdek sistemi ile SAP2000 programında modellenmiştir (Şekil 1). ASCE 7 standardı uyarınca kat bazlı eşdeğer statik rüzgâr yüklerinin belirlenmesinde kullanılan temel parametreler; kat başına etkili rüzgâr alanı $A_f = 101.22 \text{ m}^2$, rüzgâr yönlülük katsayısı $K_d = 0.85$, dinamik savrulma faktörü $G = 0.874$, topoğrafya faktörü $K_{zt} = 1.00$, yükseklik düzeltme faktörü $K_e = 1.00$ ve sekizgen kesit net kuvvet katsayısı $C_f = 1.006$ olarak tanımlanmıştır.



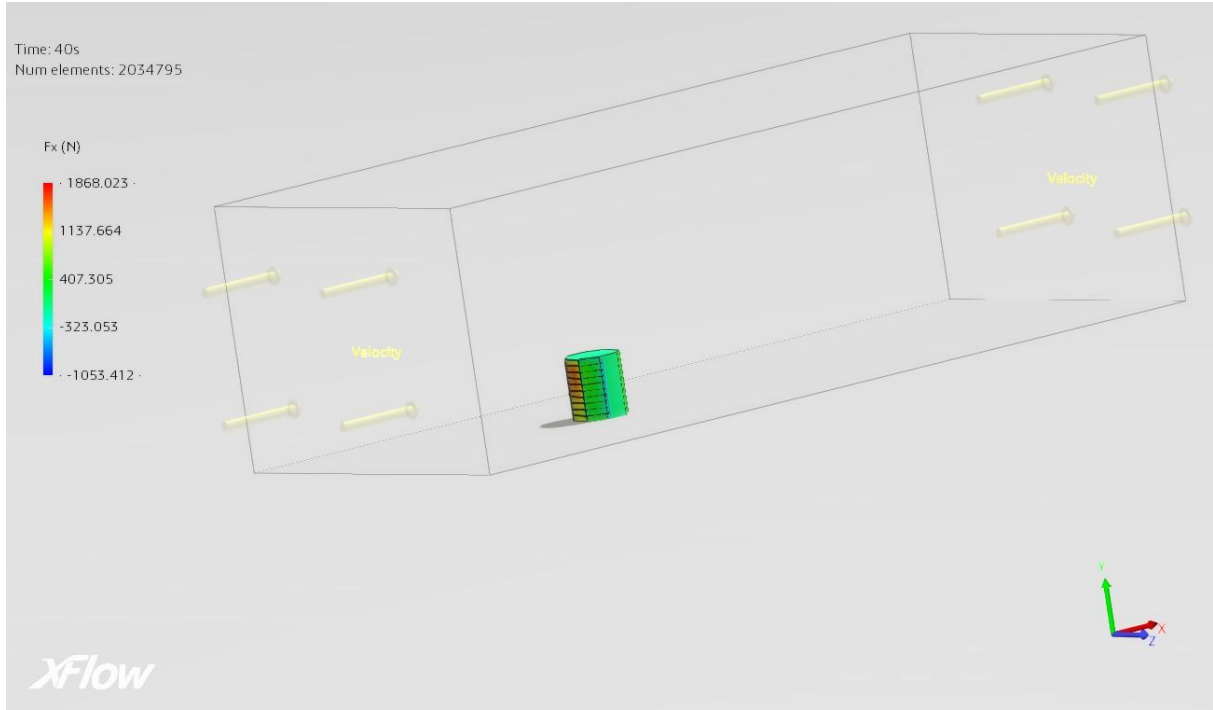
Şekil 1: Yapının SAP2000'de modellenmesi

2.1.2 XFlow CFD Analizi: SAP 2000 programı arayüzünde geometrisi oluşturulan yapı modeli rüzgâr tüneli ortamına aktarılmıştır (Şekil 2-3). ASCE 7 standardı kapsamında rüzgâr yönlülük katsayısı ($K_d = 0.85$) dikkate alınarak oluşturulan Atmosferik Sınır Tabakası (ABL) rüzgâr profili, giriş sınır şartında (Inlet Boundary) yüksekliğe bağlı parçalı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır (Eşitlik 1). Simülasyonlarda Lattice Boltzmann Yöntemi (LBM) ve WMLES (Wall-Modeled Large Eddy Simulation) türbülans modeli kullanılarak akışın zamana bağlı dinamik yapısı çözümlenmiştir.

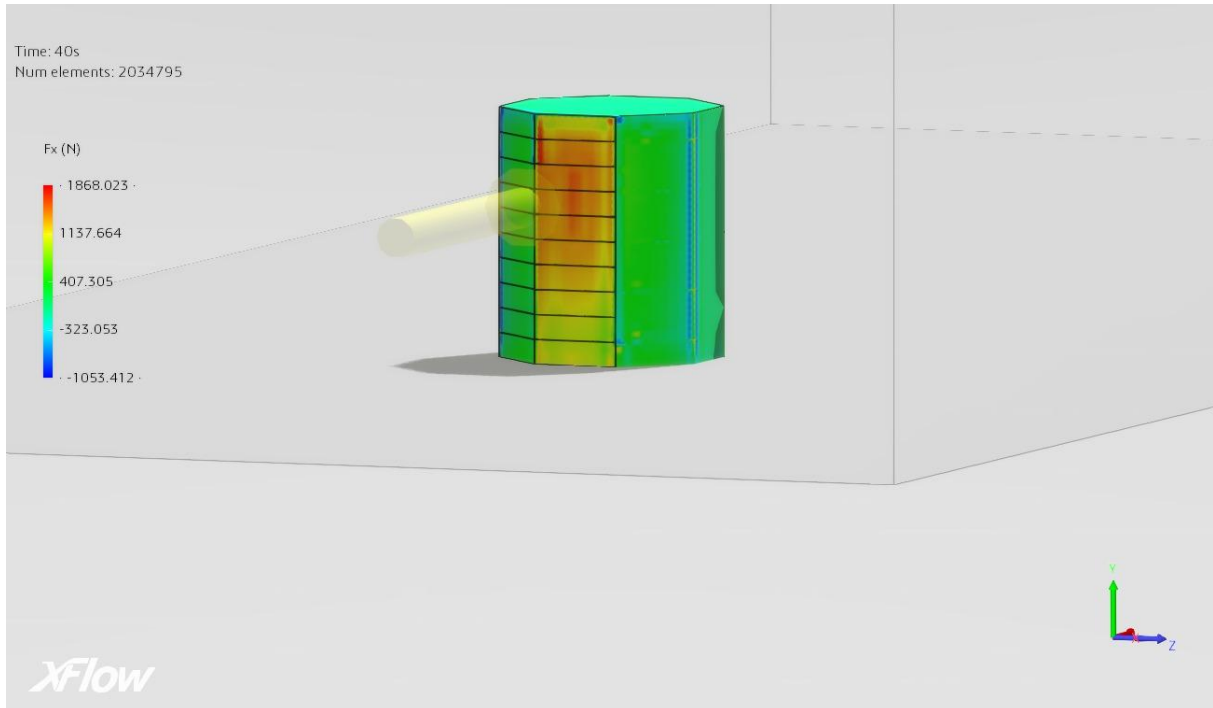
$$V(y) = \begin{cases} 44.25 \cdot \left(\frac{4.5}{10}\right)^{0.115}, & y < 4.5 \text{ m} \\ 44.25 \cdot \left(\frac{y}{10}\right)^{0.115}, & y \geq 4.5 \text{ m} \end{cases} \quad (1)$$

2.2. Kat Rüzgâr Kuvvetleri Bulguları (ASCE 7 vs. XFlow)

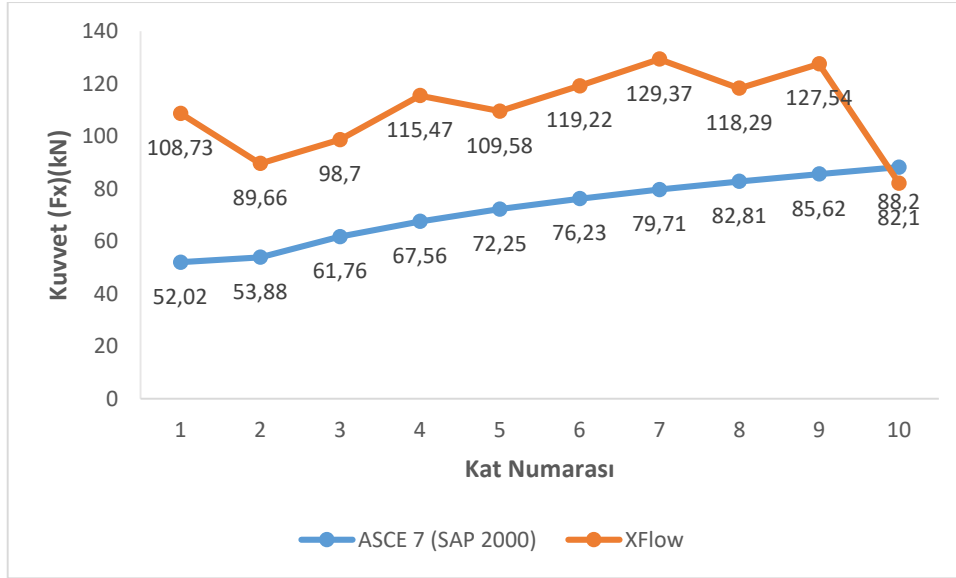
Tanımlanan bu sayısal model üzerinden, her kata etki eden toplam yüzey basınçları belirlenmiştir. Elde edilen basınç değerleri her kat seviyesinde kuvvetlere dönüştürülmüş ve elde edilen sonuçlar daha sonra ASCE 7 standardına göre belirlenen yüklerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4). Yapılan çalışma her iki yöntemin katlar boyunca rüzgâr kuvvetlerinin dağılımı açısından benzer bir davranış sergilediğini, ancak kuvvet büyüklükleri bakımından sistematik bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur. ASCE 7 yaklaşımıyla hesaplanan kat rüzgâr kuvvetlerinin toplamı 720,04 kN, XFlow CFD analizinden elde edilen toplam kuvvet ise 1098,66 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 2: Modelin rüzgar tüneline konumlandırılması



Şekil 3: 40. sn'de rüzgar tüneline model yüzeylerinde oluşan kuvvetin x bileşenleri



Şekil 4: Katlara gelen x doğrultusundaki kuvvetler

3. TARTIŞMA

Yürütülen çalışma kapsamında hem CFD analizinden elde edilen hem de ASCE 7 standardının öngördüğü sonuçlar arasında belirgin bir fark görülmüştür. Ancak literatürdeki başka araştırmacılar da (Blocken 2014) ampirik formüllerle elde edilen sonuçların CFD analizlerine göre daha kaba sonuçlar sunduğunu belirtmişlerdir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar arasındaki farkın literatürde diğer araştırmacılar tarafından da gözlemlendiği değerlendirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda CFD analizinden elde edilen toplam rüzgâr kuvvetinin ASCE 7 standardı esas alınarak elde edilen sonuca göre yaklaşık %52 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ancak karşılaştırmalar katlar bazında incelendiğinde genel olarak benzer artış ve azalışları içermesi, iki yöntemin de rüzgâr yüklerinin yapı yüksekliği boyunca dağıtım karakteri bakımından birbirleriyle uyumlu olması genel olarak yük etkilerinin benzer karakterleri gösterdiğini ortaya koymuştur. Yapılan analizler sonucunda ASCE 7 yaklaşımının CFD sonuçlarına kıyasla daha düşük rüzgâr kuvvetleri verdiği görülürken, CFD analizinin sekizgen yapı geometrisi etrafında gelişen akış alanını ve yüzey basınç dağılımlarını ayrıntılı olarak değerlendirilmesine olanak sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abu-Zidan, Y., Mendis, P., Gunawardena, T., Mohotti, D., & Fernando, S. (2022). Wind Design of Tall Buildings: The State of the Art. *Electronic Journal of Structural Engineering*. <https://doi.org/10.56748/ejse.2233101>
- Blocken, B. (2014). 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 69-102.

- Meena, R., Raj, R., & Anbukumar, S. (2022). Wind Excited Action around Tall Building Having Different Corner Configurations. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/1529416>
- Shirzadi, M., Tominaga, Y., & Mirzaei, P. (2019). Wind tunnel experiments on cross-ventilation flow of a generic sheltered building in urban areas. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.057>
- Solari, G. (2017). Wind Loading of Structures: Framework, Phenomena, Tools and Codification. *Structures*, 12, 265-285. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2017.09.008>
- Tominaga, Y., & Shirzadi, M. (2021). Wind tunnel measurement dataset of 3D turbulent flow around a group of generic buildings with and without a high-rise building. *Data in Brief*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107504>
- Verma, A., Meena, R., Dubey, H., Raj, R., & Anbukumar, S. (2022). Wind Effects on Rectangular and Triaxial Symmetrical Tall Building Having Equal Area and Height. *Complexity*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4815623>

KRİSİN İLE MODİFİYE EDİLMİŞ KALEM GRAFİT ELEKTROT KULLANILARAK HİDROKİNONUN VOLTAMETRİK DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

Yousra BASHIR FATHALRHMAN ALTAYEB

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-3950-9037

Şeyma KORKMAZ

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-5445-7239

Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU

Necmettin Erbakan University, Ahmet Keleşoğlu Education Faculty, Chemistry Department,
420100, Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-5780-3056

ÖZET

Bu çalışmada, hidrokinonun (HQ)'nın voltametrik davranışını incelemek için krisin ile modifiye edilmiş kalem grafit elektrot (Chr/PGE) kullanılmıştır. Kalem grafit elektrot (PGE) yüzeyine pH 7,2 fosfat tampon çözeltisi (PBS)'de hazırlanan 1 mM krisin (Chr) dönüşümlü voltametri (CV) kullanılarak +0,8 V ile +2,6 V potansiyel aralığında 100 mV s⁻¹ tarama hızında 10 döngü uygulanarak modifiye edilmiştir. HQ'nun voltametrik davranışı pH 7,2 PBS içerisinde hazırlanan 1 mM HQ çözeltisinin Chr/PGE sensör elektrodu kullanılarak -0,3 V/+0,2 V potansiyel aralığında, 25 Hz frekansta, 50 mV puls genliği, 1 mV adım genliği ve 400 rpm karıştırma hızında kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) tekniği uygulanmıştır. Chr/PGE kullanılarak HQ için net bir oksidasyon piki elde edilmiştir. Farklı pH değerlerinde destek elektrolitin etkisi -0,3 V ile +0,2 V potansiyel aralığında 6,4; 6,8; 7,2; 7,6 ve 8,0 pH değerlerinde PBS içinde 1 mM HQ hazırlanarak incelenmiştir. Biriktirme süresinin etkisi 0, 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 s aralıklarında incelenmiş ve maksimum pik akımının elde edildiği 30 s optimum biriktirme süresi olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrokinon, tek kullanımlık elektrot, kalem grafit elektrot, voltametri, kare dalga adsorptif sıyırma voltametri, elektrokimyasal sensor

INVESTIGATION OF THE VOLTAMMETRIC BEHAVIOR OF HYDROQUINONE USING A CHRYSIN MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE

ABSTRACT

In this study, a chrysine-modified pencil graphite electrode (Chr/PGE) was used to investigate the voltammetric behavior of hydroquinone (HQ). The pencil graphite electrode (PGE) surface was modified using cyclic voltammetry (CV) with 1 mM Chrysine (Chr) in phosphate buffer solution (PBS), applying 10 cycles at a scan rate of 100 mV s⁻¹ over the potential range of +0.8 V to +2.6 V. The voltammetric behavior of HQ was investigated using square-wave adsorptive stripping voltammetry (SWAdSV) technique in the potential range of -0.3 V to +0.2 V, at a frequency of 25 Hz, with a pulse size of 50 mV, a step size of 1 mV, and a rotation rate of 400

rpm, employing a Chr/PGE sensor electrode and a 1 mM HQ solution prepared in pH 7.2 PBS. A distinct oxidation peak for HQ was obtained using Chr/PGE. The effect of the supporting electrolyte at different pH values was investigated by preparing 1 mM HQ in PBS at pH 6.4, 6.8, 7.2, 7.6, and 8.0 and at potentials from -0.3 V to +0.2 V. The effect of accumulation time was investigated over the range of 0, 15, 30, 45, 60, 75, and 90 s, and 30 s, at which the maximum peak current was obtained, was selected as the optimum accumulation time.

Keywords: Hydroquinone, disposable electrode, pencil graphite electrode, voltammetry, square wave adsorptive stripping voltammetry, electrochemical sensor

1. INTRODUCTION

Dihydroxybenzenes are important phenolic compounds with high toxicity and low degradability. They are suspected carcinogens and are widely released into the environment because they are used as chemical intermediates in the synthesis of a variety of pharmaceuticals and other organic compounds, such as dyes, photographic chemicals, plastics, flavoring agents, antioxidants, rubber, and pesticides. Therefore, they have been listed as priority pollutants by environmental organizations such as the US Environmental Protection Agency (EPA) and the European Union (EU) (Hudari et al. 2016; Gomez et al. 2003). hydroquinone HQ, also known as benzene-1,4-diol or quinol, belongs to the class of phenolic aromatic organic compounds with the chemical formula $C_6H_6O_2$ and a molecular weight of $110.11 \text{ g mol}^{-1}$ (Htet et al. 2016). The chemical structure of HQ is given in Figure 1. HQ is a whitening agent used in cosmetics to treat melasma and freckles. This is achieved through topical application to treat dark spots by inhibiting melanin production, resulting in skin lightening (Chuenjitt et al. 2022; Palumbo et al. 1991; Chen et al. 2016). Prolonged and continuous use of HQ may lead to permanent skin discoloration and an increased risk of skin cancer. Therefore, it is essential to develop simple, sensitive, rapid, and inexpensive analytical methods for determining HQ concentration (Chuenjitt et al. 2022). Several analytical procedures have been used to quantify HQ, including chromatography (Hudari et al. 2014), fluorescence (Gomez et al. 2003), spectrophotometry (Siddique et al. 2012), fluorometry (Yang et al. 2013), and electrochemical methods (Yang et al. 2013; Zhang et al. 2009). Most of these analytical methods are time-consuming and expensive, requiring complex sample preparation procedures and expert technicians, which makes them unsuitable for routine analysis. In contrast, electrochemical techniques have gained considerable attention due to their low cost, rapid response, ease of operation, low detection limit, and relatively short analysis time (Suea-Ngam et al. 2015; Charoenkitamor et al. 2018). pencil graphite electrodes (PGE) are practical, renewable, and economical due to their ease of use, suitability, and the ease of cleaning and polishing their surfaces. They are also inexpensive. These electrodes have proven their sensitivity and reproducibility when applied in voltammetric techniques (David et al. 2017).

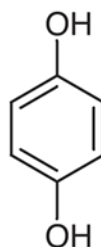


Figure 1. Chemical structure of HQ

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Chemicals and electrochemical equipment

All chemicals used in this study were of analytical grade. The chemicals used were: Ultrapure water with a resistance of 18.2 MΩ cm (Adrona, Latvia), HQ (Sigma-Aldrich, 100%), and chrysine (Chr) (Sigma-Aldrich, 98%). 1 mM HQ was prepared by dissolving the required amount of HQ in phosphate buffer solution (PBS) pH 7.2. PBS was prepared by dissolving 0.1 M K₂HPO₄ and 0.1 M KH₂PO₄ in ultrapure water, then adjusting the pH using 0.1 M NaOH or 0.1 M HCl. 1 mM Chr was prepared in PBS pH 7.2. Voltammetry measurements were performed using PGE with a 0.7-mm-diameter (Faber-Castell 2B) working electrode. pH meter was used a VWR Phenomenal pH 1100L meter equipped with a combined glass electrode (HORIBA, model 9615S). Voltammetric measurements were carried out using a galvanostat/ZRA (Gamry, USA; model reference 600+) with a three-electrode electrochemical cell. The reference electrode used in aqueous media was an Ag/AgCl/3 M KCl electrode (BASi, USA, model MF-2056). Platinum wire (BASi, USA, model MW-1032) was employed as a counter electrode.

2.2. Preparation of Chr/PGE

PGE surface was modified using cyclic voltammetry in 1 mM Chr in PBS pH 7.2, over the potential range +0.8 V to +2.6 V at a scan rate of 100 mV s⁻¹ for 10 cycles. Electrochemical experiments were carried out using a Chr/PGE as the working electrode.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Electrochemical modification of PGE with Chr

1 mM Chr was prepared in PBS at pH 7.2, and PGE surface was modified using cyclic voltammetry (CV). The modification was performed within a potential range of +0.8 V to +2.6 V, at a scan rate of 100 mV s⁻¹ for 10 cycles. Prior to analysis and measurements, Chr/PGE was washed with deionized water and prepared for analysis. The success of the modification voltammogram was demonstrated in Figure 2.

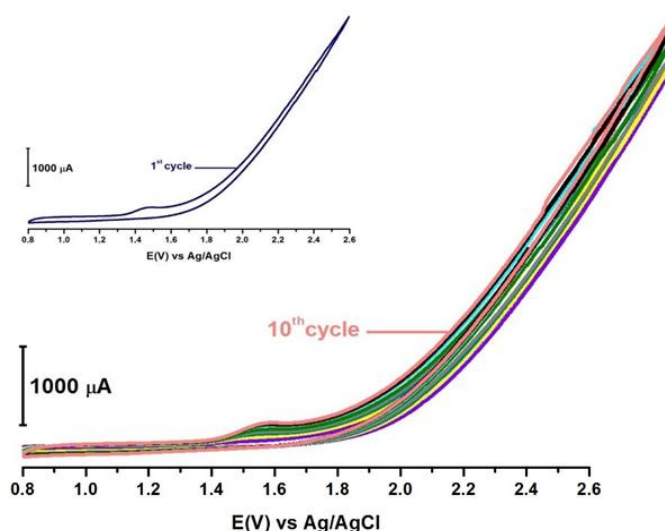


Figure 2. 1 mM Chr in pH 7.2 PBS on PGE surface at the potential range +0.8 to +2.6 V for 10 cycles at scanning rate of 100 mV s⁻¹. Inset: Cyclic voltammogram of the first cycle

3.2. Effect of supporting electrolyte pH

To determine the optimum pH value, measurements were taken on Chr/PGE surface using square wave voltammetry (SWV) technique at a frequency of 25 Hz, with a pulse size of 50

mV, a step size of 1 mV. Overlapping SW voltammograms of 1 mM HQ solutions prepared in PBS at pH values of 6.4, 6.8, 7.2, 7.6, and 8.0 were given in Figure 3A. The relevant curve showing the relationship between pH and peak current was given in Figure 3B. As a result of these studies, pH 7.2 was determined to be optimal.

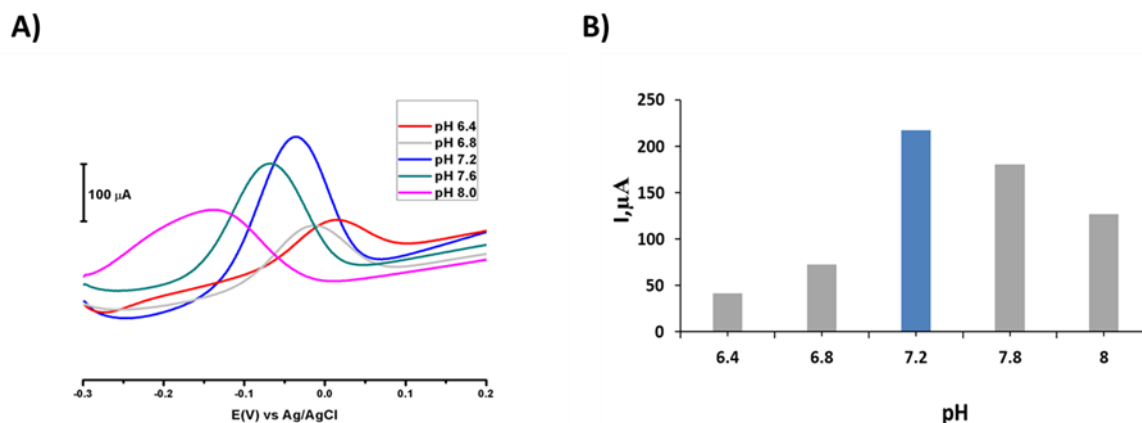


Figure 3. A) SW voltammograms of 1 mM HQ in PBS at different pH values of 6.4, 6.8, 7.2, 7.6, and 8.0 at Chr/PGE, **B)** Relevant curve of peak current versus Ph

3.3. Selection of voltammetric technique

To determine the optimum voltammetric technique, SWV, square wave adsorptive stripping voltammetry (SWAdSV), differential pulse voltammetry (DPV), and differential pulse adsorptive stripping voltammetry (DPAdSV) measurements were performed in a 1 mM HQ prepared in PBS pH 7.2 in the potential range of -0.3 V to +0.2 V as given in Figure 3A, 3B, 3C, 3D. When comparing the voltammetric techniques, the highest peak current, 100 μA, was obtained with SWAdSV technique, and no peak was observed for the supporting electrolyte. Further studies on HQ determination were continued with SWAdSV technique.

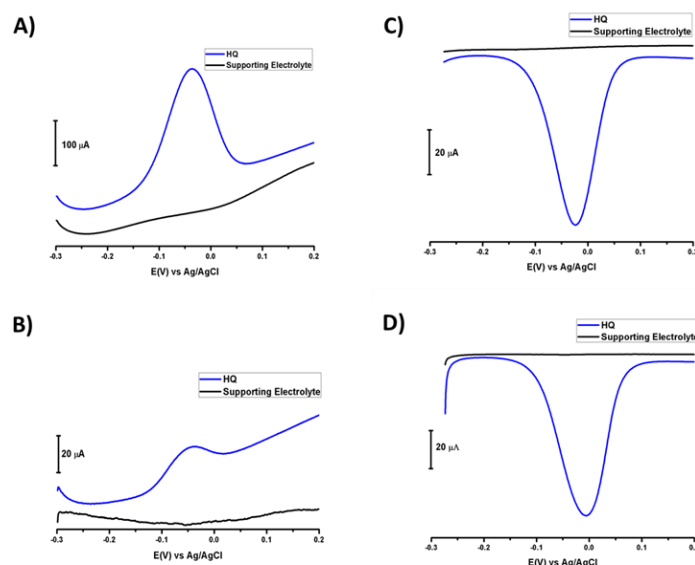


Figure 3. HQ was obtained using **A)** SWAdSVs, **B)** SWVs, **C)** DPAdSVs, and **D)** DPVs, measured over the potential range of -0.3 V to +0.2 V with 1 mM HQ in PBS pH 7.2 using Chr/PGE

3.4. Accumulation time effect

SWAdSV technique was used to study the sensitivity of Chr/PGE sensor to HQ detection. To evaluate the effect of accumulation time, SWAdS voltammograms were recorded using Chr/PGE at accumulation times ranging from 0 to 90 s over a potential range of -0.3 V to +0.2 V, with a frequency of 25 Hz, a pulse size of 50 mV, a step size of 1 mV, and a rotation rate of 400 rpm. SWAdS voltammograms obtained with Chr/PGE of a 1 mM HQ solution prepared in pH 7.2 PBS were given in Figure 5A. The relevant curve of the peak current as a function of accumulation time was given in Figure 5B. 30 s was chosen as the optimum accumulation time.

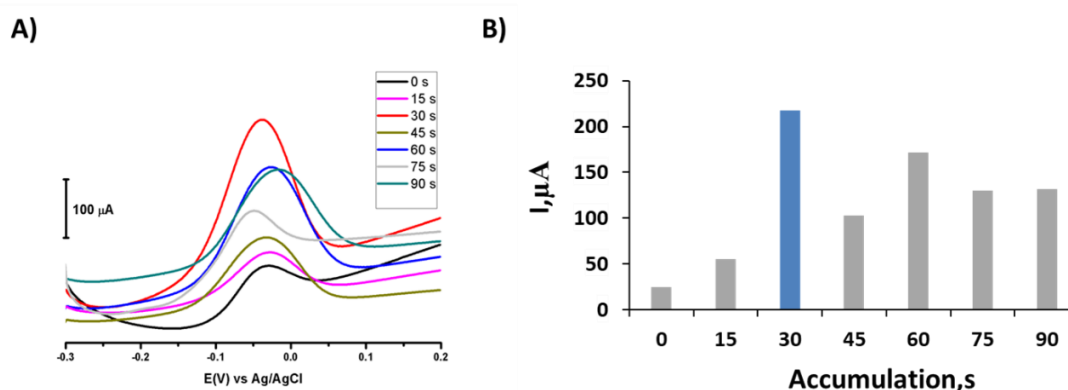


Figure 5. A) SWAdS voltammograms of 1 mM HQ in PBS at different accumulation times (0, 15, 30, 45, 60, 75, and 90 s) recorded on a Chr/PGE electrode in a potential range of -0.3 V to +0.2 V, at a frequency of 25 Hz, a pulse size of 50 mV, a step size of 1 mV, and a rotation rate of 400 rpm. **B)** Relevant curve of peak current versus accumulation time

3.5. Quantitative voltammetric determination of HQ

SWAdS voltammograms were acquired under the optimized experimental conditions over a potential range of -0.3 V to +0.2 V, using a frequency of 25 Hz, a pulse size of 50 mV, a step size of 1 mV, and a stirring rate of 400 rpm. Figure 6A presented SWAdS voltammograms obtained for different HQ concentrations (0.001, 0.005, 0.010, 0.050, and 0.100 mM) in pH 7.2 PBS using Chr/PGE. SWAdS voltammograms were obtained for HQ at different concentrations (0.001, 0.005, 0.010, 0.050, and 0.100 mM) in pH 7.2 PBS using Chr/PGE in Figure 6A. The calibration graph of peak current versus HQ concentration was shown in Figure 6B. The resulting linear equation was $[I_p(\mu A) = 2608.5 C_{HQ} (mM) + 35.658]$, with a correlation coefficient (r^2) of 0.9901.

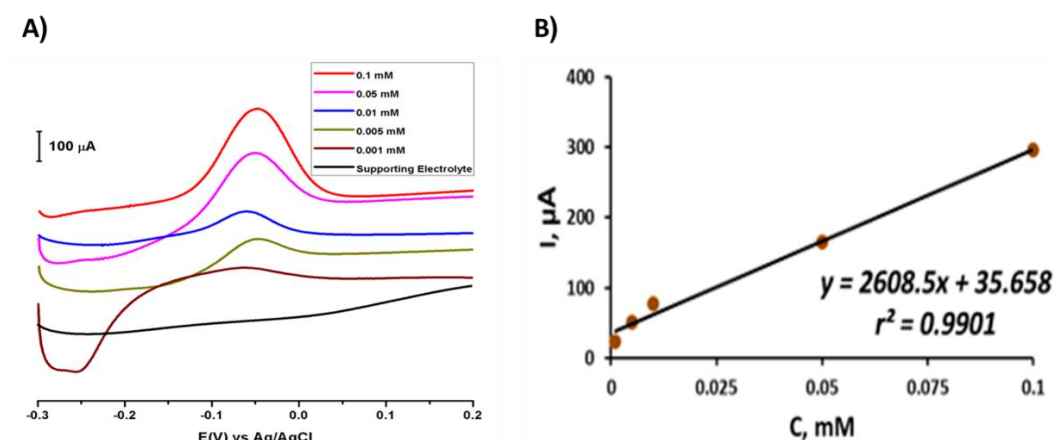


Figure 6. A) SWAdS voltammograms of HQ at different concentrations (0.1, 0.05, 0.01, 0.005, 0.001 mM) in PBS pH 7.2, in a potential range of -0.3 V to +0.2 V, at a frequency of 25 Hz, a pulse size of 50 mV, a step size of 1 mV, and a rotation rate of 400 rpm, B) Relevant standard curve of peak current versus HQ concentration

4. Conclusions

In this work, Chr/PGE sensor electrode was used to conduct voltammetric studies of HQ. Chr/PGE sensor exhibited good linearity, as well as high electrochemical activity toward the oxidation of HQ using SWAdSV technique. Calibration studies revealed a linear relationship between the peak current and HQ concentration ($r^2 = 0.9901$), indicating good linearity over the investigated concentration range. The applicability of Chr/PGE sensor to real cosmetic samples is currently under investigation.

REFERENCES

- Charoenkitamorn K, Chaiyo S, Chailapakul O, Siangproh W. (2018). Low-cost and disposable sensors for the simultaneous determination of coenzyme Q10 and α -lipoic acid using manganese (IV) oxide-modified screen-printed graphene electrodes. *Analytica Chimica Acta* 1004, 22–31.
- Chen J, Yu X, Huang Y. (2016). Inhibitory mechanisms of glabridin on tyrosinase. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 168, 111–117.
- Chuenjitt S, Kongsuwan A, Phua CH, Saichanapan J, Soleh A, Saisahas K, Limbut W. (2022). A poly(neutral red)/porous graphene modified electrode for a voltammetric hydroquinone sensor. *Electrochimica Acta* 434, 141272.
- David IG, Popa DE, Buleandra M. (2017). Pencil graphite electrodes: a versatile tool in electroanalysis. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2017(1), 1905968.
- Gomez MR, Olsina RA, Martínez LD, Silva MF. (2003). Simultaneous determination of chloramphenicol, salicylic acid and resorcinol by capillary zone electrophoresis and its application to pharmaceutical dosage forms. *Talanta* 61(2), 233–238.
- Htet AM, Thin EE, Saw MM, Win S. (2016). Chemical analysis of hydroquinone and retinoic acid contents in facial whitening creams. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences* 11(1), 89–90.
- Hudari FF, de Almeida LC, da Silva BF, Zanoni MVB. (2014). Voltammetric sensor for simultaneous determination of p-phenylenediamine and resorcinol in permanent hair dyeing and tap water by composite carbon nanotubes/chitosan modified electrode. *Microchemical Journal* 116, 261–268.

- Palumbo A, d'Ischia M, Misuraca G, Prota G. (1991). Mechanism of inhibition of melanogenesis by hydroquinone. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 1073(1), 85–90.
- Siddique S, Parveen Z, Ali Z, Zaheer M. (2012). Qualitative and quantitative estimation of hydroquinone in skin whitening cosmetics. *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications* 2(3), 224–228.
- Suea-Ngam A, Rattanarat P, Chailapakul O, Srisa-Art M. (2015). Electrochemical droplet-based microfluidics using chip-based carbon paste electrodes for high-throughput analysis in pharmaceutical applications. *Analytica Chimica Acta* 883, 45–54.
- Yang C, Chai Y, Yuan R, Xu W, Chen S. (2013). Gold nanoparticle–graphene nanohybrid bridged 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole-functionalized multiwall carbon nanotubes for the simultaneous determination of hydroquinone, catechol, resorcinol and nitrite. *Analytical Methods* 5(3), 666–672.
- Zhang D, Peng Y, Qi H, Gao Q, Zhang C. (2009). Application of multielectrode array modified with carbon nanotubes to simultaneous amperometric determination of dihydroxybenzene isomers. *Sensors and Actuators B: Chemical* 136(1), 113–121.

ADENİN MODİFİYE KALEM GRAFİT ELEKTROT İLE SEROTONİNİN VOLTAMETRİK DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

Şeyma KORKMAZ

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-5445-7239

Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU

Necmettin Erbakan University, Ahmet Keleşoğlu Education Faculty, Chemistry Department,
420100, Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-5780-3056

ÖZET

Bu çalışmada, serotonin hidroklorür (5-HT)'nin voltametrik tayini için adenin modifiye kalem grafit elektrot (AD/PGE)'nin analitik performansı incelenmiştir. Kalem grafit elektrot (PGE) yüzeyinin modifikasyonu 100 mM H₂SO₄ içerisinde hazırlanan 1 mM adenin (AD) çözeltisi kullanılarak CV tekniği ile +0,9 V ile +1,5 V potansiyel aralığında 100 mV s⁻¹ tarama hızında 10 döngü uygulanarak gerçekleştirilmiştir. AD'nin PGE yüzeyindeki elektrokimyasal davranışlarını belirlemeye yönelik çalışmalar tamamlandıktan sonra 5-HT tayini için destek elektrolit pH'sı, voltametrik tekniğin seçimi, biriktirme süresinin etkisi ve tekrar üretilebilirlik çalışmaları yapılmıştır. Destek elektrolitin pH'sını belirlemek için fosfat tamponu (PBS) pH 6,4-8,0 ortamında kare dalga voltametri (SWV) tekniği ile -0,1 V ile +0,5 V potansiyel aralığında ölçümler alınmıştır. Voltametrik tekniğin seçimi için SWV, diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) ölçümleri pH 7,2 PBS'de hazırlanmış 1 mM 5-HT çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Sensör elektrodun tekrar üretilebilirliği pH 7,2 PBS'de hazırlanan 1 mM 5-HT çözeltisinde beş yeni hazırlanmış AD/PGE ile gerçekleştirilen SWAdSV ölçümleri esas alınarak değerlendirilmiştir. AD/PGE sensör elektrodu kullanılarak 5-HT tayini için farklı 5-HT konsantrasyonlarında -0,1 V ile +0,5 V potansiyel aralığında alınan SWAdSV tekniği kullanılarak 0,001-0,1 mM ve 0,01-0,75 µM olmak üzere iki kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. LOD ve LOQ'nun sırasıyla 3,18 nM ve 9,54 nM olduğu bulunmuştur ve bu da geliştirilen sensör elektrodun yüksek hassasiyetini doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Serotonin, kalem grafit elektrot, dönüşümlü voltametri, kare dalga adsorptif sıyırma voltametri, elektrokimyasal sensör

INVESTIGATION OF THE VOLTAMMETRIC BEHAVIOR OF SEROTONIN USING ADENIN MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE

ABSTRACT

In this study, the analytical performance of an adenine-modified pencil graphite electrode (AD/PGE) for the voltammetric determination of serotonin hydrochloride (5-HT) was investigated. The modification of the pencil graphite electrode (PGE) surface was performed using the CV technique with a 1 mM adenine (AD) solution prepared in 100 mM H₂SO₄ by applying 10 cycles at a scan rate of 100 mV s⁻¹ within the potential range of +0.9 V to +1.5 V. After completing the studies to determine the electrochemical behavior of AD on the PGE surface, experiments were conducted to determine 5-HT levels, including studies on the pH of

the supporting electrolyte, the selection of the voltammetric technique, the effect of the accumulation time, and reproducibility. To determine the pH of the supporting electrolyte, measurements were taken using the square-wave voltammetry (SWV) technique in a phosphate buffer solution (PBS) at pH 6.4–8.0 within a potential range of -0.1 V to +0.5 V. For the selection of voltammetric techniques, SWV, differential pulse voltammetry (DPV), square wave adsorptive stripping voltammetry (SWAdSV), and differential pulse adsorptive stripping voltammetry (DPAdSV) were performed on a 1 mM 5-HT solution prepared in pH 7.2 PBS. The reproducibility of the sensor electrode was evaluated based on SWAdSV measurements conducted using five freshly prepared AD/PGE electrodes in a 1 mM 5-HT solution prepared in pH 7.2 PBS. Using the AD/PGE sensor electrode for 5-HT determination, two calibration curves —ranging from 0.001 to 0.1 mM and from 0.01 to 0.75 μ M— were generated using the SWAdSV technique at different 5-HT concentrations within the potential range of -0.1 V to +0.5 V. The LOD and LOQ were determined to be 3.18 nM and 9.54 nM, respectively, confirming the high sensitivity of the developed sensor electrode.

Keywords: Serotonin, pencil graphite electrode, cyclic voltammetry, square wave adsorptive stripping voltammetry, electrochemical sensor

1. GİRİŞ

Nörotransmitter sistemleri ruh hali, duygusal denge ve psikoz gibi nöropsikiyatrik süreçler üzerinde doğrudan etkili olduğundan, bu sistemlerde yer alan biyomoleküllerin hassas ve güvenilir şekilde tayini büyük önem taşımaktadır. Serotonin hydrochloride (5-HT, 5-hidroksitriptamin), çok küçük miktarlarda geniş fizyolojik ve farmakolojik etkiler oluşturan, doğal olarak meydana gelen bir maddedir. İnsan beyinde 5-HT merkezi sinir sisteminde önemli bir nörotransmitter olarak görev yapar ve özellikle orta beyindeki dorsal ve medial rafe çekirdeklerinde yüksek konsantrasyonda bulunur. Bu bölgelerde sentezlenen serotonerjik nöronlar, beyin genelinde bilişsel, duygusal ve motivasyonel süreçlerin düzenlenmesinde rol oynar (Hornung 2003). 5-HT düzeylerinin plazmada geniş bir aralıkta değişebildiği ve normal kabul edilen derişimlerin yaklaşık 0,5–44,0 μ g/L arasında olduğu bildirilmektedir (Anderson vd. 1987). 5-HT, geleneksel olarak, 5-HT sistemini hedef alan antidepresan ilaçların farmakolojik çalışmaları veya merkezi sinir sisteminde 5-HT'in tükenmesi temelinde depresyonla ilişkilendirilen nörotransmitter olmuştur.

Geleneksel analiz yöntemleri yüksek doğruluk sağlamalarına rağmen genellikle karmaşık numune hazırlama basamakları gerektirmeleri, yüksek maliyetli olmaları ve uzun analiz sürelerine ihtiyaç duyulması önemli dezavantajlar arasında yer almaktadır. Elektroanalitik yöntemler hızlı uygulanabilmeleri, düşük maliyetli olmaları, yüksek duyarlılık göstermeleri ve az miktarda numune ile tayin yapılabilmesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Kalem grafit elektrot (PGE)'nin elektroanalitik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilmesinin nedeni kolay temin edilebilir olmaları, yüksek iletkenlikleri, düşük maliyetleri, geniş potansiyel çalışma aralıkları ve tek kullanımlık elektrot uygulamalarına elverişli olmalarıdır (Korkmaz vd. 2026; Korkmaz ve Demir Mülazımoğlu 2025).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kimyasallar ve elektrokimyasal ekipmanlar

Bu çalışmada kullanılan adenin (AD), 5-HT ve diğer kimyasallar (Alfa Aesar, Riedel-de-Haen, Merck ve Sigma-Aldrich) firmalarından analitik saflıkta satın alınmıştır. Voltametrik ölçümler ait tüm deneysel çalışmalar GAMRY Reference 600+ Potentiostat/Galvanostat/ZRA (Gamry Instruments, Warminster, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda BAS

(Bioanalytical Systems Inc., West Lafayette, USA) marka C3 hücre sistemi kullanılmıştır. Çalışmalarda 0,7 mm çapındaki ticari Faber–Castell 2B kalem uçları, PGE olarak adlandırılarak hem çıplak hem de modifiye edilmiş formda çalışma elektrodu olarak kullanılmıştır. Referans elektrot olarak BAS MF-2056 Ag/AgCl (3 M KCl, doymuş) referans elektrodu, karşıt elektrot olarak platin tel elektrot (BAS Model MW-1034) kullanılmıştır. Dönüşümlü voltametri (CV) tekniği PGE yüzeyinin modifikasyonu için, kare dalga voltametri (SWV), diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) teknikleri 5-HT'nin analitik tayinini araştırmak için kullanılmıştır. Ortamın pH'ı bir pH metre (VWR pHEMOMENAL) kullanılarak ölçülmüştür. Tüm deneyler oda koşullarında (25 ± 1 °C) gerçekleştirilmiştir.

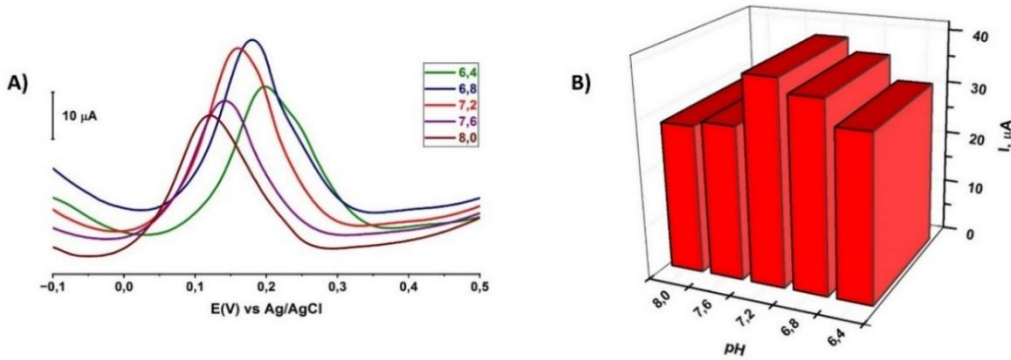
2.2. AD/PGE'nin hazırlanışı

PGE yüzeyinin modifikasyonu 100 mM H_2SO_4 içerisinde hazırlanan 1 mM AD çözeltisi ortamında CV tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Modifikasyon işlemi +0,9 V ile +1,5 V potansiyel aralığında 100 mV s^{-1} tarama hızında ve 10 döngülü olarak uygulanmıştır (Korkmaz vd. 2025). Deneylerde kullanılan tüm AD/PGE'ler her ölçümden önce yeni olarak hazırlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Destek elektrolit pH'sının optimizasyonu

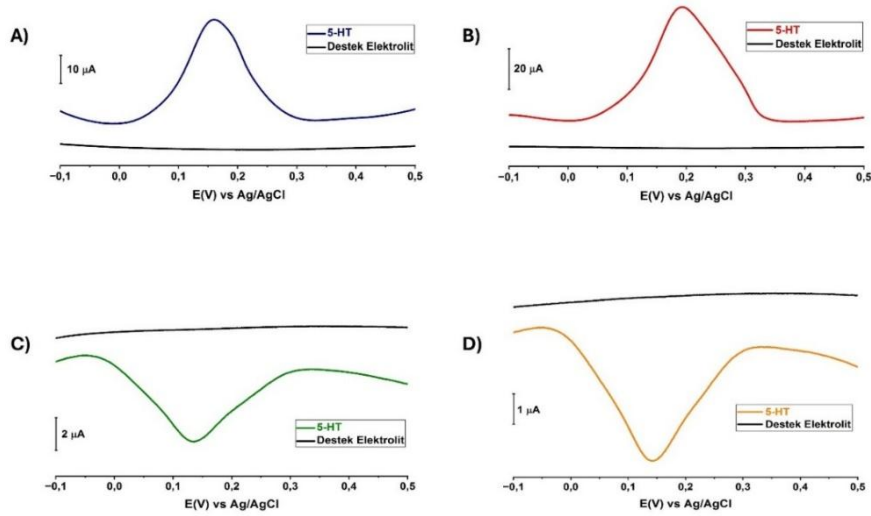
Optimum pH değerini belirlemek için SWV tekniği ile 25 Hz frekans, 50 mV puls genliği ve 1 mV adım genliği kullanılarak AD/PGE yüzeyinde Ag/AgCl referans elektrodu ile -0,1 V ile +0,5 V potansiyel aralığında ölçümler alınmıştır. Fosfat tamponu (PBS) ortamında pH 6,4; 6,8; 7,2; 7,6 ve 8,0 değerlerinde hazırlanan 1 mM 5-HT çözeltilerine ait üst üste çakıştırılmış SW voltamogramları Şekil 1A'da ve pH ile pik akımı arasındaki ilişkiyi gösteren sütun grafiği Şekil 1B'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda pH 7,2 optimum pH olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. A) PBS'de farklı pH değerlerinde 1 mM 5-HT çözeltisinin SW voltamogramları, B) pH'ya bağlı pik akımı sütun grafiği

3.2. Voltametrik tekniğin seçimi

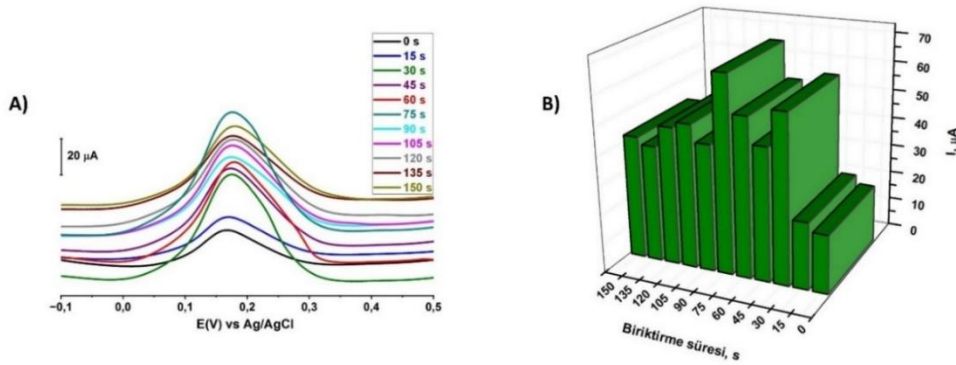
Optimum voltametrik tekniğin belirlenmesi için tüm deneylerde çalışma elektrodu olarak AD/PGE, referans elektrot olarak ise Ag/AgCl elektrodu kullanılmıştır. SWV, DPV, SWAdSV ve DPAdSV ölçümleri pH 7,2 PBS'de hazırlanmış 1 mM 5-HT çözeltisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2A, 2B, 2C, 2D). Voltametrik teknikler karşılaştırıldığında en yüksek pik akımı $54,57 \mu\text{A}$ ile SWAdSV tekniğinde elde edilmiş ve destek elektrolite ait herhangi bir pik gözlenmemiştir. 5-HT tayini için çalışmalara SWAdSV tekniği ile devam edilmiştir.



Şekil 2. A) SWV, B) SWAdSV, C) DPV ve D) DPAdSV teknikleri ile alınan voltamogramların destek elektrolite ait voltamogramlarla karşılaştırılması

3.3. Biriktirme süresinin etkisi

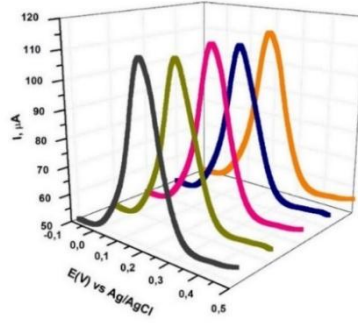
Biriktirme süresinin etkisini değerlendirmek amacıyla 0–150 s biriktirme sürelerinde SWAdSV tekniği ile AD/PGE yüzeyinde -0,1 V ile +0,5 V arasındaki potansiyel aralığında 25 Hz’lik bir frekans, 50 mV’lık bir puls genliği, 1 mV’lık bir adım genliği ve 400 rpm karıştırma hızı kullanılarak SWAdS voltamogramları alınmıştır. pH 7,2 PBS’de hazırlanan 1 mM 5-HT çözeltisinin AD/PGE sensör elektrodu ile alınan SWAdS voltamogramları Şekil 3A’da ve pik akımının biriktirme süresine bağlı sütun grafiği Şekil 3B’de verilmiştir. Optimum biriktirme süresi olarak 75 s seçilmiştir.



Şekil 3. A) Farklı biriktirme sürelerinde (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 ve 150 s) alınan SWAdS voltamogramları, B) Biriktirme süresine bağlı pik akımı sütun grafiği

3.4. Tekrar üretilebilirlik

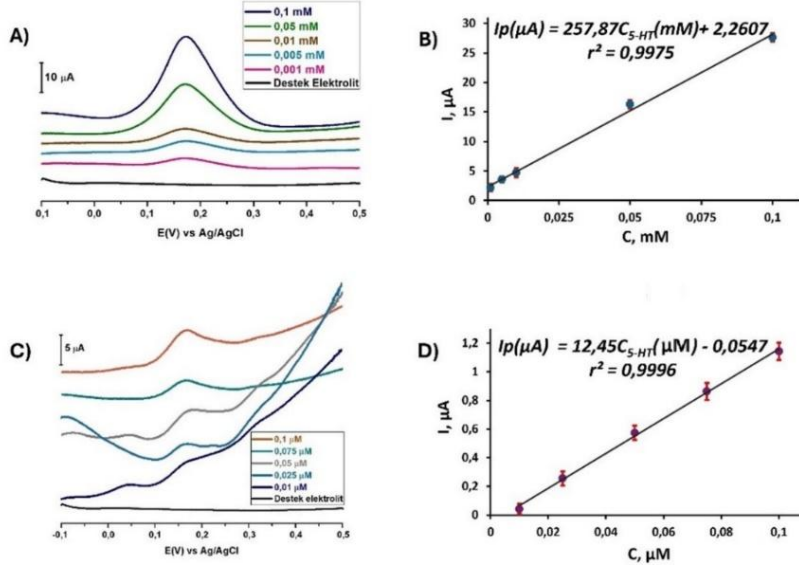
Sensör elektrodun tekrar üretilebilirlik pH 7,2 PBS’de hazırlanan 1 mM 5-HT çözeltisinde beş yeni hazırlanmış AD/PGE ile SWAdSV çalışmaları -0,1 V ile +0,5 V potansiyel aralığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). %0,45 RSD değeri elektrotların tekrar üretilebilir olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4. 5-HT için birbirinden bağımsız beş ölçüme ait SWAdS voltamogramları

3.5. Kalibrasyon grafiği

AD/PGE sensör elektrodu kullanılarak 5-HT tayini için 0,001–0,1 mM ve 0,01–0,1 μ M pH 7,2 PBS’de hazırlanan 5-HT konsantrasyonlarında -0,1 V ile +0,5 V potansiyel aralığında alınan SWAdSV ölçümlerine ait iki kalibrasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 5A, 5B, 5C, 5D).



Şekil 5. A) 5-HT’nin 0,001; 0,005; 0,01; 0,05 ve 0,1 mM konsantrasyonlarındaki SWAdS voltamogramları, B) 5-HT için kalibrasyon grafiği, C) 0,01; 0,025; 0,05; 0,075 ve 0,1 μ M konsantrasyonlarındaki SWAdS voltamogramları, D) 5-HT için kalibrasyon grafiği

Gözlenebilirlik sınırı (LOD) ve tayin sınırı (LOQ)’nun sırasıyla 3,18 nM ve 9,54 nM olduğu bulunmuştur ve bu da geliştirilen sensör elektrodun yüksek hassasiyetini doğrulamıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada AD/PGE sensör elektrodu kullanılarak 5-HT için kararlı ve tekrar üretilebilir bir voltametrik sinyal elde edilmiştir. Kısa süreli ardışık ölçümlerde RSD değerinin %0,45 bulunması sensör elektrodun iyi bir tekrar üretilebilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. Kalibrasyon çalışmalarında elde edilen ($r^2 = 0,9975$ ve $r^2 = 0,9996$) değerlerden pik akımları ile 5-HT konsantrasyonu arasında doğrusal ilişki görülmüştür. AD/PGE sensörünün 5-HT gibi biyolojik açıdan önemli nörotransmitterlerin elektroanalitik tayini için başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. İlerleyen çalışmalarda sensör elektrodun gerçek biyolojik numunelerdeki analitik performansının değerlendirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Anderson GM, Feibel FC, Cohen DJ. (1987). Determination of serotonin in whole blood, platelet-rich plasma, platelet-poor plasma and plasma ultrafiltrate. *Life Sciences*, 40(11), 1063–1070.
- Hornung JP. (2003). The human raphe nuclei and the serotonergic system. *Journal of Chemical Neuroanatomy* 26(4), 331–343.
- Korkmaz S, Mülazımoğlu AD. (2025). Highly sensitive square wave adsorptive stripping voltammetric determination of dopamine in human plasma using a cytosine-modified pencil graphite electrode. *ACS Omega* 10(22), 23461–23471.
- Korkmaz Ş, Elriş A, Özcan S, Mülazımoğlu AD. (2026). Thymine-modified pencil graphite electrode for the sensitive determination of dopamine in rat brain samples: Voltammetric analysis validated by LC–MS/MS. *Microchemical Journal*, 118719.
- Korkmaz S, Mulazimoglu IE, Demir Mulazimoglu A. (2025). Electrochemical determination of dopamine in synthetic urine using an adenine (AD) modified pencil graphite electrode (PGE). *Analytical Letters* 58(17), 2897–2912.

PİPERAZİN MODİFİYE CAMSI KARBON ELEKTROT İLE PARASETAMOL TAYİNİ

Shabnam ALIYEVA

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya, Türkiye

ORCID ID: 0009-0008-2427-0860

Aysel RUSTAMOVA

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-1999-1361

Şeyma KORKMAZ

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-5445-7239

Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU

Necmettin Erbakan University, Ahmet Keleşoğlu Education Faculty, Chemistry Department, 420100, Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-1676-2870

ÖZET

Bu çalışmada pH 7,2 fosfat tamponu (PBS)'de hazırlanan 1 mM piperazin (PP) çözeltisi dönüşümlü voltametri (CV) tekniği ile +0,7 V ile +2,2 V potansiyel aralığında 100 mV s⁻¹ tarama hızında 10 döngü uygulanarak camsi karbon (GC) elektrot yüzeyine modifiye edilmiştir. Modifikasyon gerçekleştirildikten sonra GC elektrot yüzeyinde 0,1 M HCl çözelti 0,0 V ile -1,3 V potansiyel aralığında, 100 mV s⁻¹ tarama hızında 5 döngü ile indirgenme yapılmıştır. Karakterizasyon işlemlerinde CV tekniği ile susuz ortamda ferrosen (FCN) redoks prob çözeltisi ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) kullanılmıştır. Destek elektrolitin pH'sını belirlemek için pH 2-12 aralığında Britton-Robinson (BR) tampon çözeltisi ile -0,2 V ile +0,8 V potansiyel aralığında kare dalga voltametri (SWV) tekniği kullanılmıştır. Voltametrik tekniğin belirlenmesi amacıyla pH 2 BR tampon çözeltisinde hazırlanan 1 mM parasetamol (PAR) çözeltisinin SWV, diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) teknikleriyle voltamogramları alınmıştır. PAR tayini için rPP/GC sensör elektrodu ile SWAdSV tekniği uygulanarak biriktirme süresinin pik akımı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 0-105 s aralığında farklı biriktirme sürelerinde ölçümler yapılmıştır. Pik akımının 90 s biriktirme süresinde maksimum değere ulaşması nedeniyle optimum biriktirme süresi 0 s olarak belirlenmiştir. rPP/GC sensör elektrodu kullanılarak PAR tayini için 1x10⁻³-1x10⁻⁶ M konsantrasyon aralığında hazırlanan farklı PAR çözeltilerinin +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında SWAdSV ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler kullanılarak kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar optimize edilen deneysel koşullar altında rPP/GC elektrodun farklı numune matrislerinde PAR'ın voltametrik tayinine başarıyla uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Parasetamol, camsi karbon elektrot, piperazin, kare dalga adsorptif sıyırma voltametri, sensör elektrot

DETERMINATION OF PARACETAMOL USING A PIPERAZINE-MODIFIED GLASSY CARBON ELECTRODE

ABSTRACT

In this study, a 1 mM piperazine (PP) solution prepared in a pH 7.2 phosphate buffer (PBS) was used to modify the glassy carbon (GC) electrode surface via cyclic voltammetry (CV) by performing 10 cycles at a scan rate of 100 mV s⁻¹ within the potential range of +0.7 V to +2.2 V. After modification, a 0.1 M HCl solution was used to reduce the GC electrode surface over a potential range of 0.0 V to -1.3 V at a scan rate of 100 mV s⁻¹ for 5 cycles. In the characterization procedures, the CV technique was used with a ferrocene (FCN) redox probe solution in a nonaqueous medium, along with electrochemical impedance spectroscopy (EIS). To determine the optimum pH of the supporting electrolyte, a Britton–Robinson (BR) buffer solution with a pH range of 2–12 was used in conjunction with the square-wave voltammetry (SWV) technique within a potential range of -0.2 V to +0.8 V. To determine the appropriate voltammetric technique, voltammograms of a 1 mM paracetamol (PAR) solution prepared in a pH 2 BR buffer solution were recorded using SWV, differential pulse voltammetry (DPV), square-wave adsorptive stripping voltammetry (SWAdSV), and differential pulse adsorptive stripping voltammetry (DPAdSV). To determine the effect of accumulation time on peak current during the determination of PAR using an rPP/GC sensor electrode and the SWAdSV technique, measurements were performed at various deposition times within the 0–105 s range. Since the peak current reached its maximum value during a 90-second accumulation period, the optimal accumulation time was determined to be 90 seconds. Using the rPP/GC sensor electrode for PAR determination, SWAdSV measurements were performed on various PAR solutions prepared within a concentration range of 1×10⁻³ to 1×10⁻⁶ M at a potential range of +0.3 V to +0.8 V, and a calibration curve was generated using the obtained data. The studies demonstrated that, under the optimized experimental conditions, the rPP/GC electrode could be successfully applied to the voltammetric determination of PAR in different sample matrices.

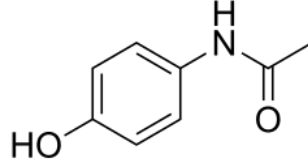
Keywords: Paracetamol, glassy carbon electrode, piperazine, square-wave adsorptive stripping voltammetry, sensor electrode

1. GİRİŞ

Parasetamol (Asetaminofen, N-asetil-p-aminofenol, N-(4-hidroksifenil) asetamid, PAR) ateş düşürücü ve ağrının hafifletilmesi için yaygın olarak kullanılan bir ilaçtır. Analjezik ve antipiretik özelliklerinin yanı sıra minimal antiinflamatuvar etkilere sahiptir (Wang vd. 2019; Campos vd. 2018). Parasetamol klinik dozlarda insan kullanımı için güvenli, ucuz ve kolay bulunabildiği için tercih edilmektedir. Yüksek dozda parasetamol esas olarak karaciğer ve böbrek hasarına neden olabildiği gibi ölümcül tabloya yol açabilmektedir. PAR toksisitesi bu ilaca bağlı görülen yan etkilerin çoğunu oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) gözlenen akut karaciğer yetmezliği vakalarının en yaygın nedeninin parasetamol toksisitesi olduğu bildirilmiştir. Ülkemizde ilk yardım uygulamalarının %59,6'sının ilaç zehirlenmelerine, %43'ünün ise ağrı kesicilere bağlı olduğu saptanmıştır. Parasetamol karaciğerde metabolize edilir (Erfidan, 2016; İslamoğlu, 2023).

Bu nedenle PAR'ın farmasötik formülasyonlarda kalite kontrolüne ve kantitatif analizine, aynı zamanda biyolojik sıvılarda izlenmesine yönelik basit, hızlı ve güvenilir analitik yöntemlerin geliştirilmesi önemli bir gerekliliktir (Li vd. 2021; Teker vd. 2020). Bu amaçla sensör teknolojileri farmasötik bileşiklerin kantitatif tayininde yaygın olarak kullanılan analitik

yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Sensörlerin seçicilik ve duyarlılık özellikleri ise hedef analitin hassas ve güvenilir tayininde kritik rol oynamaktadır (Bosnali vd. 2026).



Şekil 1. PAR'ın kimyasal yapısı

2. MATERYAL VE YÖNTEM

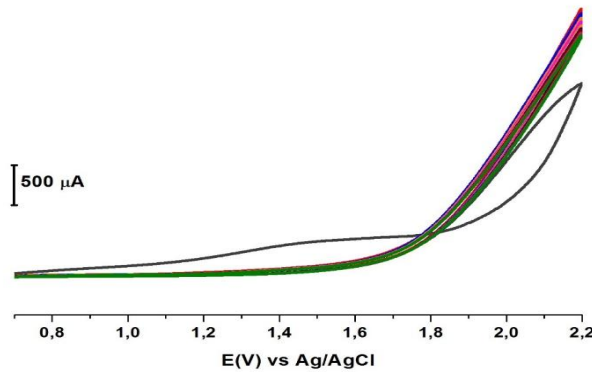
2.1. Kimyasallar ve elektrokimyasal ekipmanlar

Bu çalışmada kullanılan piperazin (PP), PAR ve diğer kimyasallar (Alfa Aesar, Sigma-Aldrich ve Merck) firmalarından analitik saflıkta satın alınmıştır. Voltametrik ölçümler ait tüm deneysel çalışmalar GAMRY Series 750 Potentiostat/Galvanostat/ZRA (Gamry Instruments, Warminster, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Voltametri deneylerinde BAS (Bioanalytical Systems Inc., West Lafayette, USA) marka C3 hücre sistemi kullanılmıştır. Çalışmalarda çalışma elektrodu olarak yüzey alanı 0,071 cm² olan BAS (Bioanalytical Systems, West Lafayette, IN, ABD) Model MF-2012 GC elektrodu kullanılmıştır. Referans elektrot olarak sulu ortam için BAS MF-2056 Ag/AgCl (3 M KCl, doygun), susuz ortam için Ag/ Ag⁺ (10 mM AgNO₃) (BAS Model MF-2042) ve karşıt elektrot olarak platin tel elektrot (BAS Model MW-1034) kullanılmıştır. Dönüşümlü voltametri (CV) tekniği GC elektrot yüzeyinin modifikasyonu için, kare dalga voltametri (SWV), diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) teknikleri PAR'ın tayinini değerlendirmek için kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

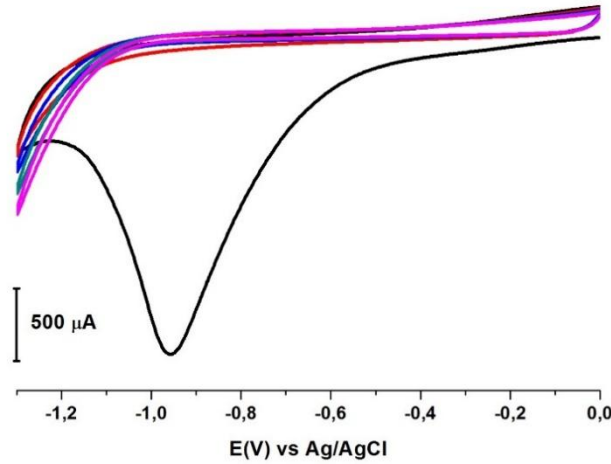
3.1. PP/GC ve rPP/GC elektrodun hazırlanışı

PP'nin GC elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal modifikasyonu için PBS pH 7,2'de +0,7 V ile +2,2 V potansiyel aralığında, 100 mV s⁻¹ tarama hızında CV tekniği ile 10 döngülü voltamogramı alınmıştır (Şekil 2). Şekilde görüldüğü gibi ikinci döngüden itibaren yüzey modifikasyonu gerçekleşmiştir.



Şekil 2. PBS pH 7,2'de hazırlanan 1 mM PP çözeltisine ait GC elektrot yüzeyinde +0,7 V ile +2,2 V potansiyel aralığında, 100 mV s⁻¹ tarama hızında, 10 döngülü voltamogram

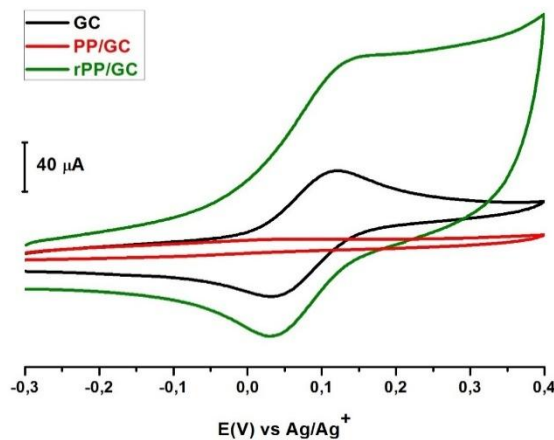
Modifiye PP/GC elektrot yüzeyinde bulunan PP, 0,1 M HCl ortamında 0,0 V ile -1,3 V potansiyel aralığında, 100 mV s^{-1} tarama hızında 5 döngü uygulanarak indirgenmiştir (Şekil 3). İlk döngüde görülen belirgin indirgenme piki ve sonraki döngülerde pik akımının kaybolması elektrot yüzeyindeki PP'nin indirgenildiğini göstermektedir.



Şekil 3. PP/GC elektrot yüzeyinde bulunan PP'nin, 0,1 M HCl çözeltisi ile 0,0 V ile -1,3 V potansiyel aralığında, 100 mV s^{-1} tarama hızında 5 döngülü indirgenme voltamogramı

3.2. Modifiye elektrodun karakterizasyonu

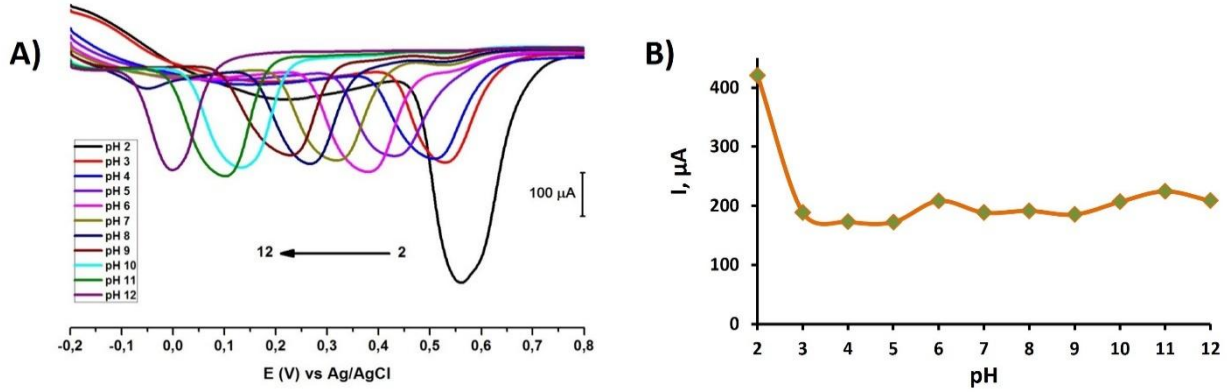
Karakterizasyon işlemi, CV tekniği kullanılarak susuz ortamda gerçekleştirilmiştir. -0,3 V ile +0,4 V potansiyel aralığında, 100 mV s^{-1} tarama hızında tek döngülü voltamogramlar alınmıştır. Şekil 4'teki CV voltamogramları incelendiğinde GC elektrot yüzeyindeki ferrosen (FCN) çözeltisindeki Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgenmiş ve ardından Fe^{3+} iyonları Fe^{2+} iyonlarına indirgenmiştir. 10 döngülü olarak PP modifikasyonu gerçekleştirildikten sonra GC elektrotunun yüzeyinde FCN'nin yükseltgenme ve indirgenmesine ait herhangi bir pik görülmemiştir. rPP/GC elektrot yüzeyinde gözlenen anodik ve katodik pik akımlarındaki artış rPP/GC elektrodun çıplak GC elektroda göre daha elektroaktif olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. GC elektrot, PP/GC elektrot ve rPP/GC elektrot yüzeyleri için FCN redoks prob ortamında alınan voltamogramların karşılaştırılmış görüntüsü (-0,3 V ile +0,4 V potansiyel aralığında, tek döngülü ve 100 mV s^{-1} tarama hızında)

3.3. Destek elektrolit pH'sının belirlenmesi

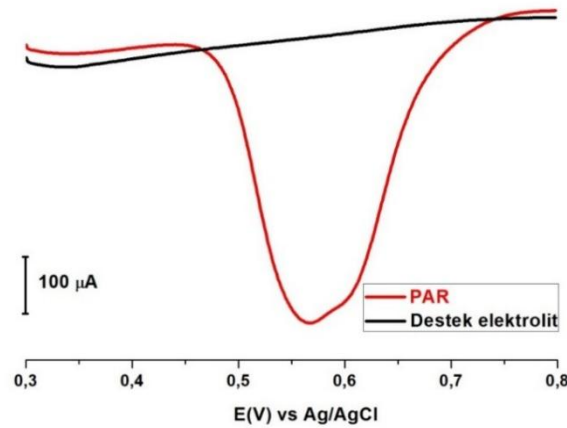
Destek elektrolitin pH'sını belirlemek için pH 2–12 aralığında Britton–Robinson (BR) tampon çözeltisi ile -0,2 V ile +0,8 V potansiyel aralığında kare dalga voltametri (SWV) tekniği kullanılmıştır. Şekil 5'teki PAR için alınan SW voltamogramlarından elde edilen pik akımları incelendiğinde optimum pH, 2 olarak belirlenmiştir.



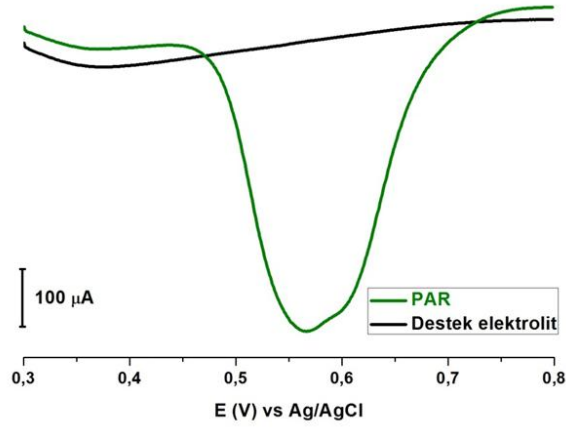
Şekil 5. A) Destek elektrolit ve çözelti pH'sının belirlenmesi için -0,2 V ile +0,8 V potansiyel aralığında 1mM PAR için Britton-Robinson (BR) tamponu içinde pH (2–12) aralığında elde edilmiş SW voltamogramları, B) pH' ya karşı elde edilen pik akımı grafiği

3.4. Voltametrik tekniğin seçimi

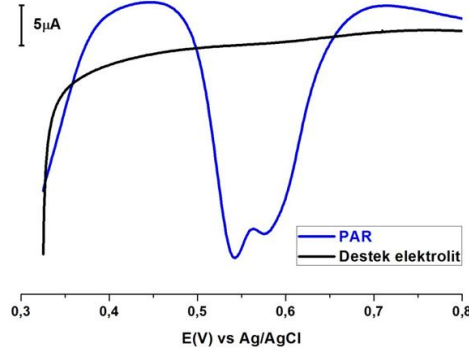
Voltametrik tekniğin belirlenmesi amacıyla pH 2 BR tampon çözeltisinde hazırlanan 1 mM PAR çözeltisinin SWV, diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) teknikleriyle voltamogramları alınmıştır.



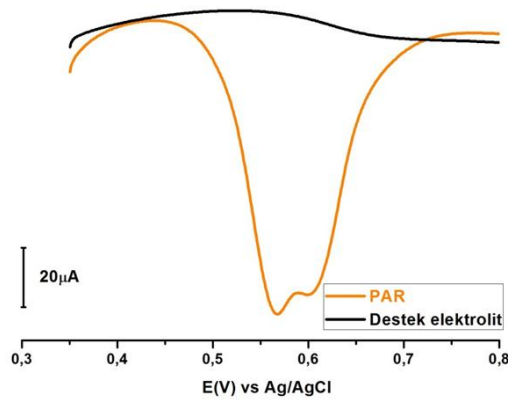
Şekil 6. BR tamponu pH 2'de hazırlanan 1 mM PAR çözeltisi için rPP/GC elektrot kullanılarak +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında alınan SW voltamogramı



Şekil 7. BR tamponu pH 2’de hazırlanan 1 mM PAR çözeltisi için rPP/GC elektrot kullanılarak +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında alınan SWAdS voltamogramı



Şekil 8. BR tamponu pH 2’de hazırlanan 1 mM PAR çözeltisi için rPP/GC elektrot kullanılarak +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında alınan DP voltamogramı



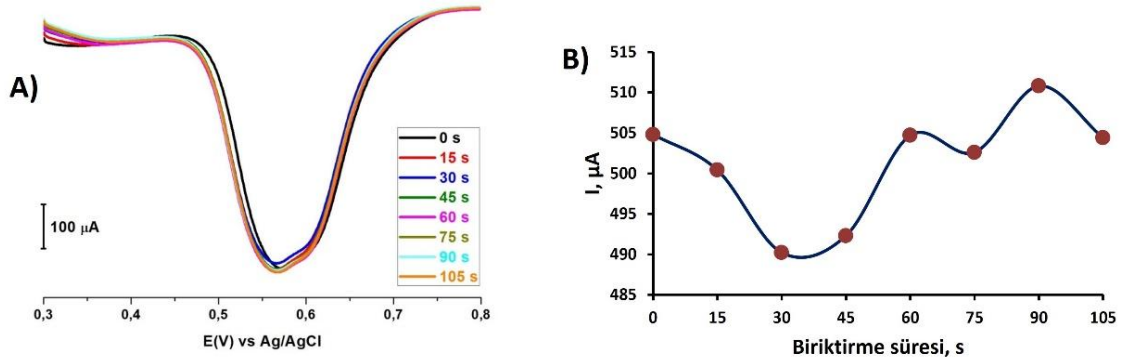
Şekil 9. BR tamponu pH 2’de hazırlanan 1 mM PAR çözeltisi için rPP/GC elektrot kullanılarak +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında alınan DPAdS voltamogramı

PAR tayini için uygulanan voltametrik teknikler karşılaştırıldığında Şekil 6’da SWV tekniği ile 496 µA, Şekil 7’de SWAdSV tekniği ile 512 µA, Şekil 8’de DPV tekniği ile 35 µA ve Şekil

9'da DPAdSV tekniği ile 100 μ A pik akımı elde edilirken, destek elektrolitlerde PAR'a ait herhangi bir pik gözlenmemiştir.

3.5. Biriktirme süresinin etkisi

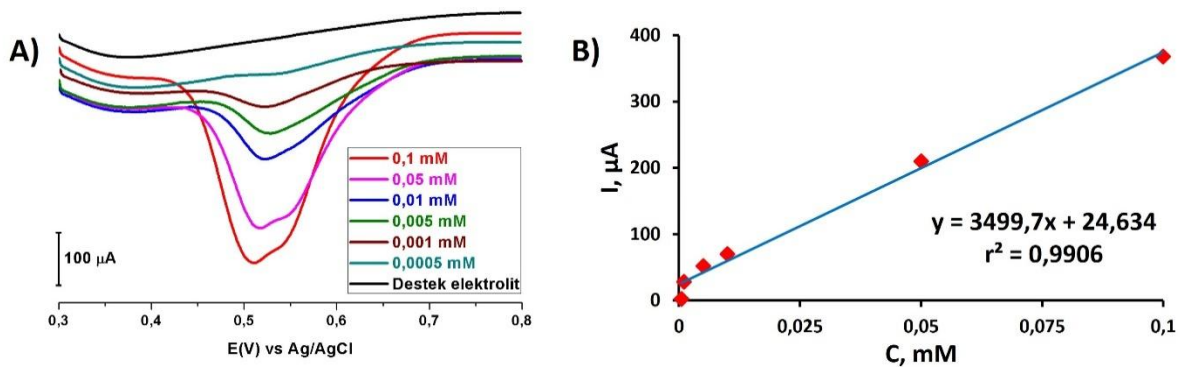
PAR tayini için rPP/GC sensör elektrodu ile SWAdSV tekniği uygulanarak biriktirme süresinin pik akımı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 0–105 s aralığında farklı biriktirme sürelerinde ölçümler yapılmıştır. Biriktirme süresinin pik akımı üzerindeki etkisi araştırıldığında pik akımının biriktirme süresinin artmasıyla yükseldiği ve 90 s'de maksimum değere ulaştığı belirlenmiş ve PAR tayini için optimum biriktirme süresi 90 s olarak seçilmiştir.



Şekil 10. A) BR tamponu pH 2'de hazırlanan 1 mM PAR çözeltisinin farklı biriktirme sürelerinde rPP/GC elektrot kullanılarak +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında alınan SWAdS voltamogramları (Karıştırma hızı 400 rpm), **B)** Biriktirme süresine karşı elde edilen pik akımı grafiği

3.6. PAR için kalibrasyon grafiği

0,0005–0,1 mM aralığında PAR konsantrasyonunun artmasıyla rPP/GC elektrot yüzeyinde elde edilen pik akımının düzenli olarak artmıştır. Pik akımı ile PAR konsantrasyonu arasında $y = 3499,7C_{PAR}(\text{mM}) + 24,634$ doğrusal ilişkisi elde edilmiş ve yüksek korelasyon katsayısı (r^2) değeri 0,9906 olarak belirlenmiştir.



Şekil 11. A) BR tamponu pH 2'de farklı konsantrasyonlarda (0,1; 0,05; 0,01; 0,005; 0,001 ve 0,0005 mM) hazırlanan PAR çözeltisinin rPP/GC elektrot kullanılarak +0,3 V ile +0,8 V potansiyel aralığında alınan SWAdS voltamogramları, **B)** Kalibrasyon grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmada PP'nin GC elektrot yüzeyine modifikasyonu sağlanmış ve ardından asidik ortamda indirgenmesiyle rPP/GC sensör elektrot hazırlanmış ve PAR'ın voltametrik tayini için incelenmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda BR pH 2 destek elektroliti, SWAdSV tekniği ve 90 s biriktirme süresi optimum değer ve teknikler olarak belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde rPP/GC elektrodun PAR tayini için duyarlı, pratik ve uygulanabilir bir sensör elektrot olduğu görülmüştür. Gelecekteki çalışmalarda geliştirilen sensör elektrotun farklı gerçek numunelerde PAR tayinine uygulanması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bosnali W, Korkmaz S, Mülazımoğlu AD, Mülazımoğlu IE. (2025). Leather shaving waste extract as an electrochemical modifier at a pencil graphite electrode for paracetamol determination in pharmaceuticals. *ACS Omega* 10(18), 18270–18282.
- Campos AM, Raymundo-Pereira PA, Mendonça CD, Calegari ML, Machado SA, Oliveira ON Jr. (2018). Size control of carbon spherical shells for sensitive detection of paracetamol in sweat, saliva, and urine. *ACS Appl Nano Mater* 1, 654–661.
- Erfidan M. (2016). Farelerde parasetamol ile indüklenen akut karaciğer hasarı üzerine narın (*Punica granatum L.*) etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 1–70.
- İslamoğlu N. (2024). Pediatrik şuruplarda parasetamol tayini için karbonsu elektrokimyasal sensör elektrot geliştirilmesi. Doktora tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye.
- Li R, Zhai T, Zhao L, Zhang N, He M, Tan L. (2021). Preparation of poly(cafeic acid)-CoP nanoparticle film on electrode surface and sensitive voltammetric detection of acetaminophen. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp* 627, 127173.
- Teker T, Aslanoglu M. (2020). Sensitive and selective determination of paracetamol using a composite of carbon nanotubes and nanoparticles of samarium oxide and zirconium oxide. *Microchem J* 158, 105234.
- Wang K, Wu C, Wang F, Jing N, Jiang G. (2019). Co/Co₃O₄ nanoparticles coupled with hollow nanoporous carbon polyhedrons for the enhanced electrochemical sensing of acetaminophen. *ACS Sustainable Chem Eng* 7, 18582–18592.

2-AMİNO-3HİDROKSİPİRİDİN MODİFİYE CAMSI KARBON ELEKTROT KULLANILARAK VANİLİN TAYİN EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Aysel RUSTAMOVA

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-1999-1361

Seyma KORKMAZ

Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Chemistry Department, 42010 Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-5445-7239

Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU

Necmettin Erbakan University, Ahmet Keleşoğlu Education Faculty, Chemistry Department, 420100, Konya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-5780-3056

ÖZET

Bu çalışmada, Vanilin (VAN)'ın voltametrik davranışının incelenmesi amacıyla 2-amino-3-hidroksipiridin (AHP) camsi karbon (GC) elektrot yüzeyine susuz ortamda amin oksidasyonu tekniği ile -0,15 V ile +0,6 V potansiyel aralığında, 100 mV s⁻¹ tarama hızında ve 30 döngü uygulanarak modifiye edilmiştir. VAN'ın voltametrik tayini için destek elektrolit ve ortam pH'sının etkisini belirlemek amacıyla farklı tampon çözeltilerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarında pH 6,4–8,0 aralığında fosfat tampon çözeltisi (PBS) ve pH 2–12 aralığında Britton–Robinson (BR) tampon çözeltisi kullanılmıştır. 1 mM VAN çözeltileri farklı pH değerlerinde BR tampon çözeltisi ve PBS'de ayrı ayrı hazırlanmış ve AHP/GC elektrot ile BR tampon çözeltisi kullanılarak +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında, PBS kullanılarak 0,0 V ile +1,1 V potansiyel aralığında kare dalga voltametri (SWV) tekniği ile ölçümler alınmıştır. Voltametrik tekniğin seçimi için AHP/GC sensör elektrodu ile pH 10 BR tampon çözeltisinde hazırlanan 1 mM VAN çözeltisi için SWV, diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. VAN tayini için AHP/GC sensör elektrot ile 25 Hz'lik bir frekans, 50 mV'lik bir puls genliği, 1 mV'lik bir adım genliği ve 400 rpm karıştırma hızı kullanılarak SWAdSV tekniği uygulanmıştır. Biriktirme süresinin etkisini incelemek amacıyla 0–120 s biriktirme sürelerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Optimum biriktirme süresi 75 s olarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler optimize edilen deneysel koşullar altında AHP/GC elektrodun VAN'ın voltametrik tayininde kullanılabilir bir elektrot olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Vanilin, camsi karbon elektrot, 2-amino-3-hidroksipiridin, dönüşümlü voltametri, kare dalga adsorptif sıyırma voltametri

INVESTIGATION OF THE DETERMINATION OF VANILLIN USING A 2-AMINO-3-HYDROXYPYRIDINE-MODIFIED GLASSY CARBON ELECTRODE

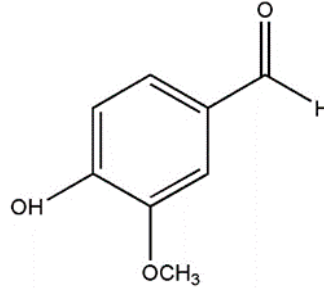
ABSTRACT

In this paper, to investigate the voltammetric behavior of vanillin (VAN), 2-amino-3-hydroxypyridine (AHP) was modified onto a glassy carbon (GC) electrode surface in a nonaqueous medium using the amine oxidation technique at a potential range of -0.15 V to +0.6 V, at a scan rate of 100 mV s⁻¹ and over 30 cycles. To determine the effect of the supporting electrolyte and the pH of the medium on the voltammetric determination of VAN, experiments were conducted using different buffer solutions. In the optimization studies conducted, phosphate buffer solution (PBS) in the pH range of 6.4–8.0 and Britton–Robinson (BR) buffer solution in the pH range of 2–12 were used. 1 mM VAN solutions were prepared separately in BR and PBS at different pH values, and voltamograms were taken using AHP/GC electrode in BR buffer solution within a potential range of +0.2 V to +1.0 V, and in phosphate buffer solution from 0.0 V to +1.1 V using the square wave voltammetry (SWV) technique. To select the voltammetric technique studies involving SWV, differential pulse voltammetry (DPV), square-wave adsorptive stripping voltammetry (SWAdSV), and differential pulse adsorptive stripping voltammetry (DPAdSV) were conducted on a 1 mM VAN solution prepared in pH 10 BR buffer solution using an AHP/GC sensor electrode. For the VAN determination, the SWAdSV technique was applied using an AHP/GC sensor electrode with a frequency of 25 Hz, a pulse amplitude of 50 mV, a step amplitude of 1 mV, and a stirring speed of 400 rpm. To investigate the effect of accumulation time, measurements were taken at accumulation times of 0–120 s. The optimum accumulation time was determined to be 75 s. The evaluations conducted have shown that, under the optimized experimental conditions, AHP/GC electrode is a viable electrode for the voltammetric determination of VAN.

Keywords: Vanillin, glassy carbon electrode, 2-amino-3-hydroxypyridine, cyclic voltammetry, square wave adsorptive stripping voltammetry

1. INTRODUCTION

Vanilin (VAN, 4-hidroksi-3-metoksibenzaldehit) vanilya çekirdeklerinin ana bileşenidir ve dondurma, çikolata ve şekerleme ürünleri gibi pek çok gıdada kullanılan başlıca aroma maddesidir. Uygun şekilde kurutulmuş çekirdeklerde gelişen vanilyanın karakteristik tadı ve aroması, bir dizi biyokimyasal ve kimyasal dönüşümün sonucudur. Madagaskar çekirdeklerinde 170'ten fazla uçucu aromatik bileşik tespit edilmiştir. Bunlar arasında VAN en bol bulunanıdır. Vanilya aromasının diğer başlıca uçucu bileşenleri arasında p-hidroksibenzoik asit, p-hidroksibenzaldehit, vanilik asit, p-hidroksibenzil alkol ve vanilil alkol bulunur (Ranadive 1992). Vanilyanın tat profili 200'den fazla bileşen içerir ve bunlardan yalnızca 26'sı 1 mg/kg'dan fazla konsantrasyonda bulunur. Vanilya özünün aroması ve tadı başlıca VAN varlığına bağlanır. Ticari vanilya çekirdeklerinde (*Vanilla frugrums* Andrews) bulunan VAN, çekirdeklerin işlenmesi sırasında oluşur ve bu çubuklarda %1-2 w/w konsantrasyonunda bulunur (Sinha vd. 2008; Leong vd. 1989). VAN'ın sağlık üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Özellikle kalp hastalıklarından ölüm oranını azaltması, anti-sickling özellik göstermesi ve ayrıca insan düşük yoğunluklu lipoproteinlerinin oksidasyonunu engellemesi gibi faydaları vardır (Pandurangan vd. 2019).



Şekil 1. VAN'ın kimyasal yapısı

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kimyasallar ve elektrokimyasal ekipmanlar

Tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, VAN ($\geq 99\%$), 2-amino 3-hidroksi piridin (AHP) ($\geq 98\%$) ve diğer kimyasallar (Alfa Aesar, Riedel-de-Haen, Darmstadt, Sigma-Aldrich ve Merck) temin edilmiştir ve ek bir saflaştırma işlemine tabi tutulmamıştır. Voltametrik ölçümlere ait tüm deneysel çalışmalar GAMRY Reference 600+ Potentiostat/Galvanostat/ZRA (Gamry Instruments, Warminster, USA) kullanılarak yapılmıştır. Tüm voltametri deneylerinde BAS (Bioanalytical Systems Inc., West Lafayette, USA) marka C3 hücre sistemi kullanılmıştır. Deneylerde çalışma elektrotu olarak BAS (Bioanalytical Systems, West Lafayette, IN, ABD) Model MF-2012 GC elektrot, sulu ortamlar için Ag/AgCl/3MKCl (BAS model MF-2063), susuz ortamlar için Ag/Ag⁺ (10 mM AgNO₃) (BAS model MF-2042) referans elektrotları, karşıt elektrot olarak Pt tel (BAS Model MW-1034) kullanılmıştır. Destek elektrolit olarak fosfat tampon çözeltisi (PBS) (pH 6,4; 6,8; 7,2; 7,6 ve 8,0) ve Britton-Robinson (BR) tampon çözeltisi (pH 2–12) kullanılmıştır.

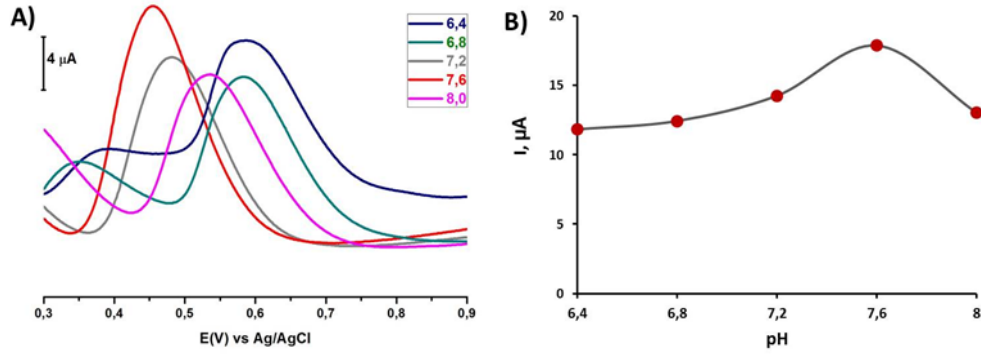
2.2. AHP/GC elektrodun hazırlanışı

Dönüşümlü voltametri (CV) tekniği ile 100 mM NBu₄BF₄ içerisinde hazırlanan 1 mM AHP çözeltisi ile GC elektrot yüzeyinin modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Ag/Ag⁺ (10 mM AgNO₃) referans elektrodu kullanılarak yapılan modifikasyon işleminde -0,15/+0,6 V potansiyel aralığı 100 mV s⁻¹ tarama hızı ve 30 döngü uygulanmıştır (Demir Mülazımoğlu ve Mülazımoğlu 2012)

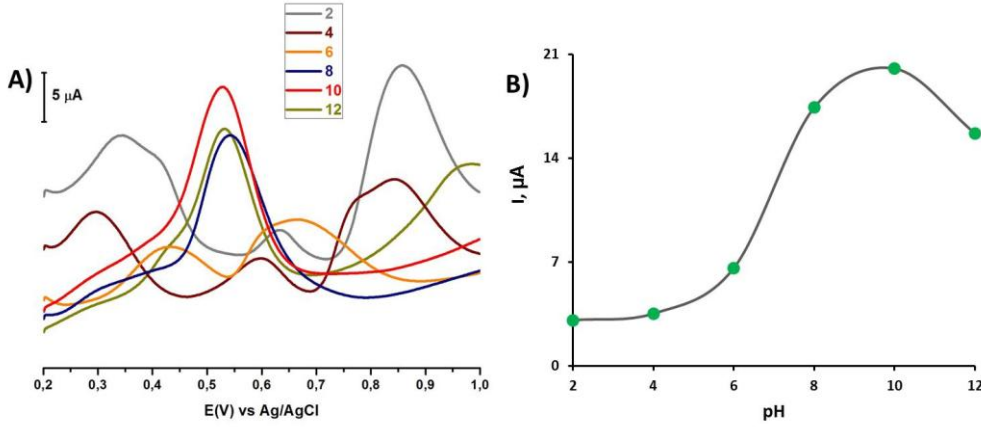
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Destek elektrolit seçimi

Optimum pH değerini belirlemek için kare dalga voltametri (SWV) tekniği ile 25 Hz frekans, 50 mV puls genliği ve 1 mV adım genliği kullanılarak AHP/GC elektrot yüzeyinde Ag/AgCl referans elektrodu ile SW voltamogramları PBS'de +0,3 V ile +0,9 V potansiyel aralığında ve BR tampon çözeltisinde ise +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında yapılmıştır. PBS pH 6,4; 6,8; 7,2; 7,6 ve 8,0 değerlerinde hazırlanan 1 mM VAN çözeltilerine ait üst üste çakıştırılmış SW voltamogramları Şekil 2A'da ve pH ile pik akımı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 2B'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda PBS ortamında pH 7,6 optimum pH olarak belirlenmiştir. BR tampon çözeltisi pH 2–12 değerlerinde hazırlanan 1 mM VAN çözeltilerine ait üst üste çakıştırılmış SW voltamogramları ise Şekil 3A'da ve pH ile pik akımı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3B'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda BR tampon çözeltisi pH 10 optimum pH olarak belirlenmiştir. PBS ve BR tamponu için pik akımları kıyaslandığında çalışmalara pH 10 BR tampon çözeltisi ile devam edilmiştir.



Şekil 2. A) pH 6,4-8,0 aralığındaki PBS’de hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin AHP/GC elektrot yüzeyinde alınan SW voltamogramları, **B)** pH–pik akımı grafiği

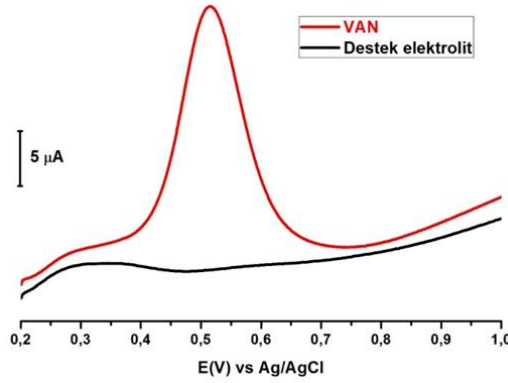


Şekil 3. pH 2–12 aralığındaki BR tampon çözeltilerinde hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin AHP/GC elektrot yüzeyinde alınan SW voltamogramları, B) pH–pik akımı grafiği

3.2. Voltametrik tekniğin seçimi

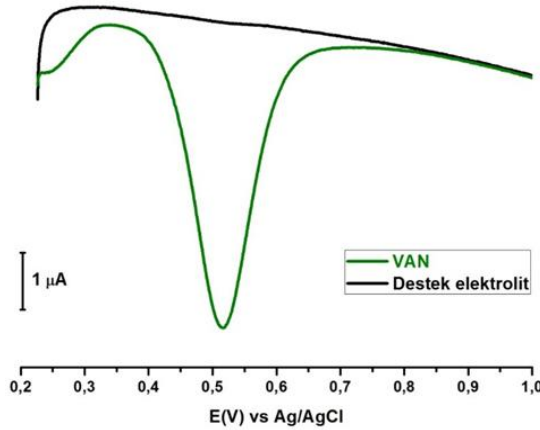
Optimum voltametrik tekniğin belirlenmesi için tüm deneylerde çalışma elektrodu olarak AHP/GC elektrot, referans elektrot olarak ise Ag/AgCl elektrodu kullanılmıştır. Teknik seçimi için SWV, diferansiyel puls voltametri (DPV), kare dalga adsorptif sıyırma voltametri (SWAdSV) ve diferansiyel puls adsorptif sıyırma voltametri (DPAdSV) tekniklerinden yararlanılmıştır.

SWV tekniği ile AHP/GC elektrot yüzeyinde +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında çalışılmıştır. SWV ölçümlerinde cihaz parametreleri olarak 25 Hz frekans, 50 mV puls genliği ve 1 mV adım genliği uygulanmıştır (Şekil 4). Destek elektrolite ait voltamogramda herhangi bir pik gözlemlenmemiştir.



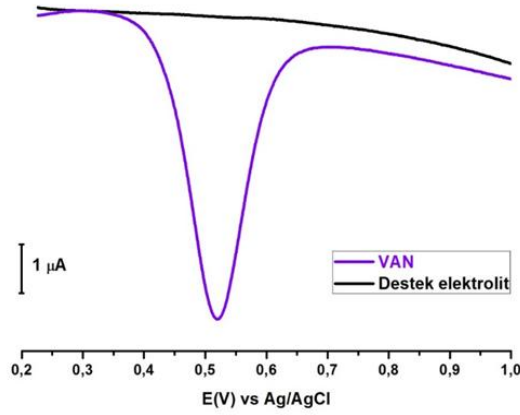
Şekil 4. BR tamponunda (pH 10) hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin ve destek elektrolitin AHP/GC elektrot yüzeyinde alınan SW voltamogramları

DPV tekniği ile AHP/GC elektrot yüzeyinde +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında çalışılmıştır. Tüm DPV ölçümlerinde cihaz parametreleri olarak 25 mV puls genliği, 1 mV adım genliği ve 0,1 s puls süresi uygulanmıştır (Şekil 5). Destek elektrolite ait voltamogramda herhangi bir pik gözlemlenmemiştir.



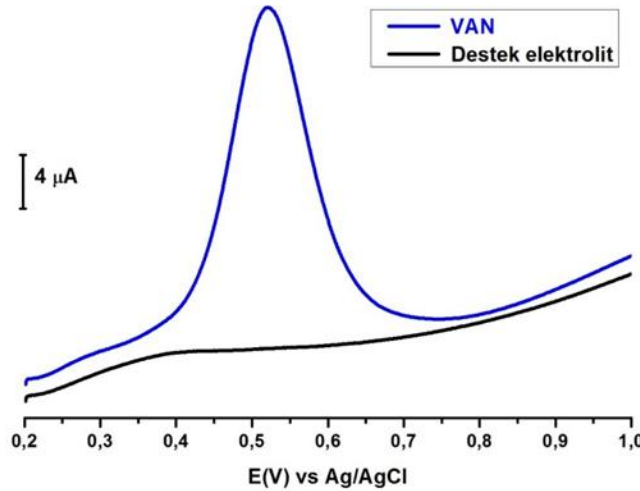
Şekil 5. BR tamponunda (pH 10) hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin ve destek elektrolitin AHP/GC elektrot yüzeyinde alınan DP voltamogramları

DPAdSV tekniği ile AHP/GC elektrot yüzeyinde +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında çalışılmıştır. Tüm DPAdSV ölçümlerinde cihaz parametreleri olarak 25 mV puls genliği, 1 mV adım genliği, 0,1 s puls süresi, 400 rpm karıştırma hızı ve 60 s biriktirme süresi kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 6). Destek elektrolite ait voltamogramda herhangi bir pik gözlemlenmemiştir.



Şekil 6. BR tamponunda (pH 10) hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin ve destek elektrolitin AHP/GC elektrot yüzeyinde alınan DPAdS voltamogramları

SWAdSV tekniği ile AHP/GC elektrot yüzeyinde +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında çalışılmıştır. SWAdSV ölçümlerinde cihaz parametreleri olarak 25 Hz frekans, 50 mV puls genliği ve 1 mV adım genliği, 400 rpm karıştırma hızı ve biriktirme süresi 60 s uygulanmıştır (Şekil 7).



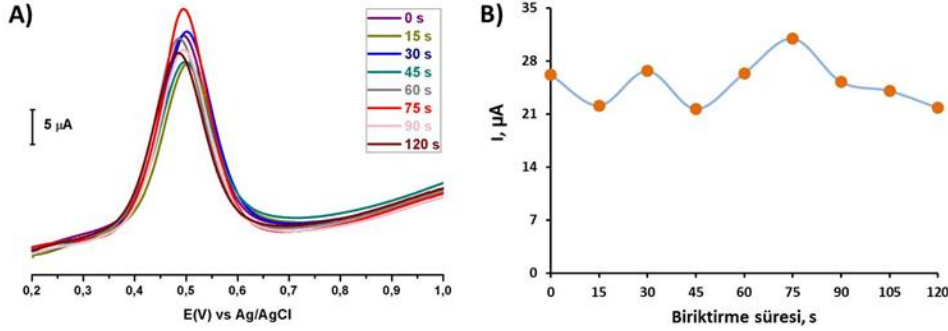
Şekil 7. BR tamponunda (pH 10) hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin ve destek elektrolitin AHP/GC elektrot yüzeyinde alınan SWAdS voltamogramları

Voltametrik teknikler karşılaştırıldığında en yüksek pik akımı SWAdSV tekniğinde elde edilmiş ve destek elektrolite ait voltamogramda herhangi bir pik gözlemlenmemiştir. VAN tayini için optimum teknik olarak SWAdSV seçilmiştir.

3.3. Biriktirme süresinin etkisi

Biriktirme süresinin etkisini değerlendirmek amacıyla 0–120 s biriktirme sürelerinde SWAdSV tekniği ile AHP/GC elektrot yüzeyinde +0,2 V ile +1,0 V arasındaki potansiyel aralığında 25 Hz frekans, 50 mV puls genliği, 1 mV adım genliği ve 400 rpm karıştırma hızı kullanılarak voltamogramlar alınmıştır. BR tampon çözeltisinde pH 10'da hazırlanan 1 mM VAN

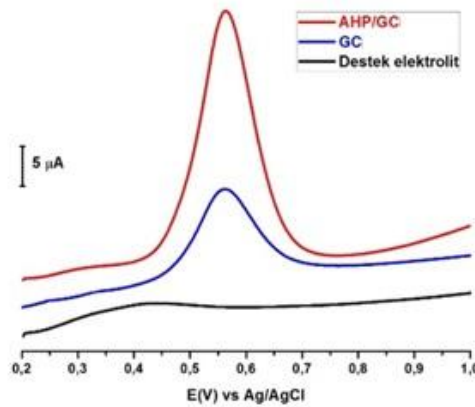
çözeltisinin AHP/GC sensör elektrodu ile alınan SWAdS voltamogramları Şekil 8A'da ve biriktirme süresi-pik akımı grafiği Şekil 8B'de verilmiştir. Optimum biriktirme süresi 75 s seçilmiştir.



Şekil 8. A) 1 mM VAN çözeltisinin farklı biriktirme sürelerindeki SWAdS voltamogramları, B) Biriktirme süresi-pik akımı grafiği

3.4. VAN'ın AHP/GC ve GC elektrotlardaki voltametrik davranışının karşılaştırılması

BR tamponunda pH 10'da hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin AHP/GC elektrot, GC elektrot ve destek elektrolitte +0,2 V ile +1,0 V potansiyel aralığında alınan SWAdS voltamogramları Şekil 9'da üst üste çakıştırılmıştır. GC elektrot yüzeyinde elde edilen SWAdS voltamogramında modifiye AHP/GC elektrot yüzeyine kıyasla VAN için daha düşük bir pik akımı gözlenmiştir. Destek elektrolite ait voltamogramda VAN için herhangi bir pik gözlenmemiştir. AHP/GC elektrot yüzeyinde pik akımının belirgin şekilde artması gerçekleştirilen yüzey modifikasyonunun VAN'ın voltametrik tayini için daha uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. BR tamponunda pH 10'da hazırlanan 1 mM VAN çözeltisinin AHP/GC elektrot, GC elektrot ve destek elektrolitte alınan SWAdS voltamogramları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada AHP/GC sensör elektrodunun VAN tayini için kullanılabilirliği araştırılmıştır. AHP/GC sensör elektrot kullanılarak VAN tayini için optimum deneysel koşullar başarıyla belirlenmiştir. GC elektrot ile AHP/GC elektrot kıyaslanmış ve AHP/GC elektrodun VAN gibi biyolojik açıdan önemli gıda etken maddesinin elektroanalitik tayini için başarılı bir şekilde

kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. İlerleyen çalışmalarda sensör elektrodun gerçek gıda numunelerindeki analitik tayininin değerlendirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

Leong G, Uzio R, Derbesy M. (1989). Synthesis, identification and determination of glucosides present in green vanilla beans (*Vanilla fragrans* Andrews). *Flavour and Fragrance Journal* 4(4), 163–167.

Mülazımoğlu AD, Mülazımoğlu İE. (2013). Electrochemical behaviors of 2-amino-3-hydroxypyridine onto the glassy carbon sensor electrode: Simultaneous and independent determinations of quercetin, galangin, 3-hydroxyflavone, and chrysin. *Food Anal Methods* 6(3), 845–853.

Pandurangan P, Rajendran S, Narayanan S. (2019). Electrochemical determination of L-vanillin using copper hexacyanoferrate film modified gold nanoparticle graphite-wax composite electrode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 30.

Ranadive AS. (1992). Vanillin and related flavour compounds in vanilla extracts made from beans of various global origins. *J Agric Food Chem* 40, 1922–1924.

Sinha AK, Sharma UK, Sharma N. (2008). A comprehensive review on vanilla flavor: extraction, isolation and quantification of vanillin and others constituents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 59(4), 299–326.

FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEK İÇİN GÜNLÜK YAŞAMDA SUYUN TASARRUFLU KULLANIMINA YÖNELİK FARKINDALIKLARI

Doç. Dr. Gonca HARMAN

Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Education, Department of Science
Education, 70100, Merkez, Karaman

ORCID ID: 0000-0002-9717-1150

Dr. Nisa YENİKALAYCI

Ankara

ORCID ID: 0000-0002-5676-1488

ÖZET

Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir gelecek için günlük yaşamda suyun tasarruflu kullanımına yönelik farkındalıklarının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada olgubilim deseni kullanılmıştır. Araştırmaya eğitim fakültesinde üçüncü sınıfta öğrenim görmekte olan 14 (13 kız, 1 erkek) ve dördüncü sınıfta öğrenim görmekte olan 17 (12 kız, 5 erkek) olmak üzere toplam 31 fen bilgisi öğretmen adayı gönüllü olarak katılmıştır. Veri toplama araçları olarak araştırmacılar tarafından hazırlanan kişisel bilgi formu ve farkındalık formu kullanılmıştır. Kişisel bilgi formunda öğrenim görmekte oldukları sınıf, cinsiyet ve aileleri ile birlikte yaşadıkları yeri içeren sorular yer almaktadır. Farkındalık formunda ise günlük yaşamda suyu en fazla hangi amaç için kullandıkları; aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde etkili olan en önemli faktör; aile bireylerini, yakın çevrelerindeki insanları (akraba, arkadaş, komşu vb.), tanımadıkları/yabancı insanları suyun tasarruflu kullanımı için uyarma durumları; aile bireyleri arasında suyu tasarruflu ve israf ederek kullanan kişiler; aileleri ile birlikte yaşadıkları evde el/yüz yıkama, diş fırçalama, duş alma/banyo yapma, sabun/şampuan/deterjan kullanımı, sifon kullanımı, çiçek/ağaç sulama, meyve/sebze yıkama, çamaşır ve bulaşık yıkama olmak üzere günlük yaşamdan örnek durumlarda suyun tasarruflu kullanımı ile ilgili neler yaptıklarını içeren sorular yer almaktadır. Öğretmen adaylarının yazılı olarak ifade ettikleri cevaplar içerik analizi kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, fen bilgisi öğretmen adaylarının günlük yaşamda suyu en fazla duş alma ve temizlik için kullandıkları; aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde bilinçli tüketici olmanın ve su kıtlığının etkili olduğu; aile bireylerini ve yakın çevrelerindeki insanları (akraba, arkadaş, komşu vb.) suyun tasarruflu kullanımı konusunda uyardıkları, buna karşın tanımadıkları/yabancı insanları bu konuda uyarmadıkları; aile bireyleri arasında anne ve babanın suyu tasarruflu kullanan, kardeşlerin ise israf ederek kullanan kişiler olduklarını ifade ettikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte fen bilgisi öğretmen adaylarının aileleri ile birlikte yaşadıkları evde suyun tasarruflu kullanımı ile ilgili olarak el/yüz yıkama için sabunlama sırasında suyu/musluğu kapattıkları veya suyu/musluğu az açtıkları; diş fırçalama sırasında suyu/musluğu kapattıkları; duş/banyo süresini kısalttıkları; sabun/şampuan/deterjan ile sifon kullanımı için herhangi birşey yapmadıkları; çiçekleri/ağaçları ihtiyaçları kadar suladıkları; meyveleri/sebzeleri kabın içine su doldurup yıkadıkları; çamaşırları ve bulaşıkları çoğunlukla makinede ve uzun programda yıkadıkları tespit edilmiştir. Araştırmada, az sayıda fen bilgisi öğretmen adayı tarafından verilen sınırlı cevaplar bağlamında fen bilgisi öğretmen adaylarının günlük yaşamda suyun tasarruflu kullanımına yönelik farkındalıklarının düşük olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilir gelecek, suyun tasarruflu kullanımı, farkındalık, fen bilgisi öğretmen adayları

AWARENESS OF THE PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS REGARDING THE SPARING USE OF WATER IN DAILY LIFE FOR A SUSTAINABLE FUTURE

ABSTRACT

In the research, it was aimed to investigate the awareness of pre-service science teachers regarding the sparing use of water in daily life for a sustainable future. A phenomenological design was used in the research. A total of 31 pre-service science teachers, 14 (13 female, 1 male) of whom were in the third grade and 17 (12 female, 5 male) of whom were in the fourth grade at the faculty of education, participated in the research voluntarily. Personal information form and awareness form prepared by the researchers were used as data collection tools. The personal information form includes questions about grade level, gender, and where they live with their families. The awareness form includes questions about purposes for which they use water most frequently in their daily life; the most important factor influencing them to limit their monthly water consumption amounts; warning their family members, people in their immediate surroundings (relatives, friends, neighbors, etc.), and strangers/unfamiliar people about the sparing use of water; family members who use water sparingly and wasting it; what they did in the home where they live with their families regarding the sparing use of water in the examples of situations from daily life as washing hands/face, brushing teeth, showering/bathing, using soap/shampoo/detergent, flushing the toilet, watering flowers/trees, washing fruits/vegetables, doing laundry, and washing dishes. The written responses of pre-service teachers were analyzed by using content analysis. As a result of the research, it was determined that pre-service science teachers use water most frequently in their daily life for showering and cleaning; being a conscious consumer and the water scarcity were the most important factors influencing them to limit their monthly water consumption amounts; warning their family members and people in their immediate surroundings (relatives, friends, neighbors, etc.) about the sparing use of water, but do not strangers/unfamiliar people about that; among family members, the mother and father were the ones who use water sparingly, while the siblings were the one who wastes it. However, it was determined that regarding the sparing use of water in the homes where pre-service science teachers live with their families, they turned off the water/faucet or turned the water/faucet on only slightly while lathering up to wash their hands or face; they turned off the water/faucet while brushing their teeth; they shortened their shower/bath time; they did nothing regarding the use of soap/shampoo/detergent, or flushing the toilet; they watered the flowers/trees as much as they need; they washed the fruits/vegetables by filling a bowl with water; they usually did laundry and washed dishes in the machine on a long programme. In the research it was understood that in the context of the limited responses provided by a small number of pre-service science teachers, their awareness regarding the sparing use of water in daily life was low.

Keywords: Sustainable future, sparing use of water, awareness, pre-service science teachers

GİRİŞ

Dünya’da çevre ile ilgili önemli problemlerden biri doğru kullanılmaması halinde su kaynaklarının gelecek yıllarda ihtiyacı karşılayamayacak duruma gelmesidir (Özertinç & Hamalosmanoğlu, 2021). Dünya üzerindeki suyun sadece %2,5’i tatlı sudur. Bunun %69’u

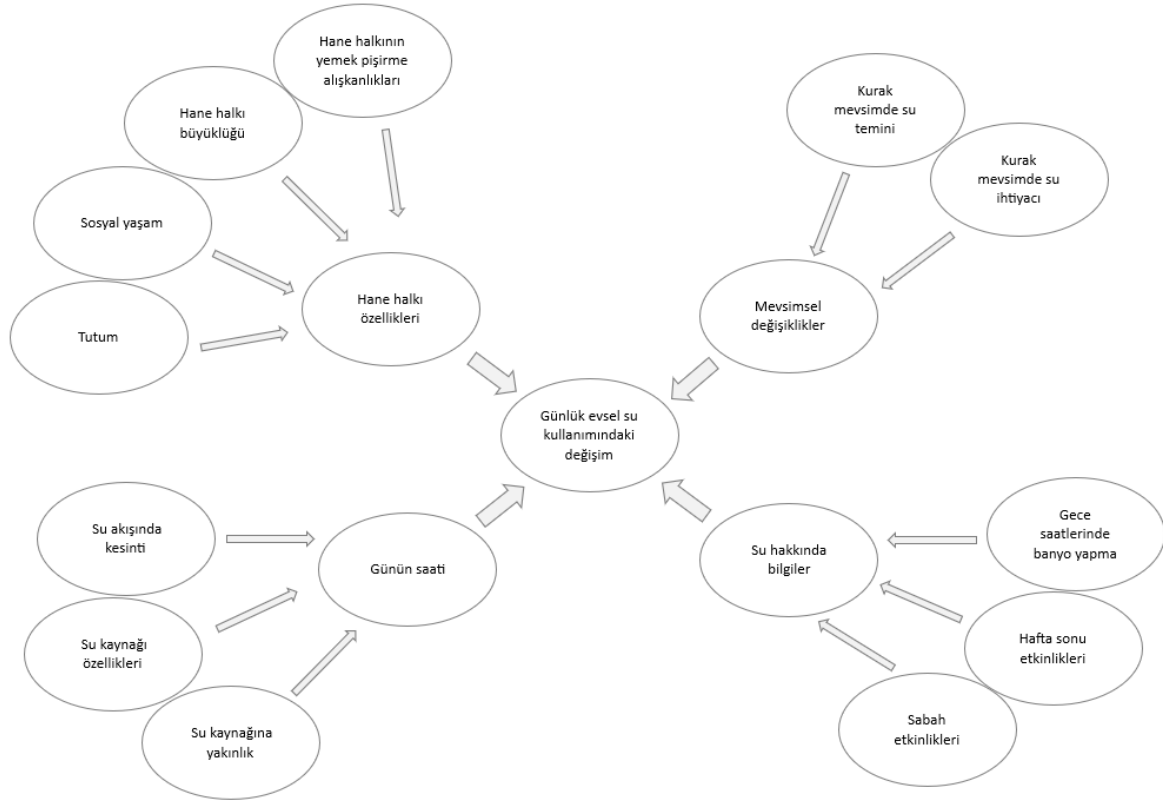
buzulların içinde olup canlıların kullanabileceği koşullarda değildir (URL-1). Dünya yüzeyinde normal şartlar altında sıvı halde olan su, canlıların yaşam alanı olma bağlamında oldukça önemlidir. Dünya yüzeyindeki su çoğunlukla okyanuslarda (%97,25) ve kutuplardaki buzullarda (%2,05) yer alır. Geri kalan kısım ise tatlı su göllerinde, nehirlerde ve yeraltı sularında bulunur. Dünya nüfusunun artışı ile birlikte tatlı suya olan talep arttıkça, suyun arıtılması ve geri dönüşümü giderek daha önemli hale gelmektedir (URL-2).

Su tüm canlılar için son derece önemli olan doğal bir yaşam kaynağıdır (Kırtorun & Karaer, 2018). Su giydiğimiz kazaklardan, yediğimiz meyvelere, kullandığımız elektrige kadar çok çeşitli alanlarda faydalandığımız önemli bir kaynaktır. Temel besin ve yaşam kaynağı olan suyun önemi son yıllarda daha da artmıştır. Bu durumun nedenleri arasında sanayi devrimi sonrasında dünya nüfusunun hızla artması ve bunun sonucu olarak birey başına düşen tatlı su miktarının azalması yer almaktadır. Ayrıca sanayileşmenin sebep olduğu su kirliliği, küresel iklim değişikliği, insanların suya yönelik bilinçleri de diğer nedenler arasında yer almaktadır. Türkiye'de dünya genelinde su azlığı ya da su stresi içinde yer alan ülkelerden biridir (Yentür vd., 2022).

Tarımsal alanlarda bilinçsiz bir şekilde yapılan zirai ilaçlama ve gübrelemeler neticesinde nitrat olarak yeraltı sularına karışan fazla azot, kanalizasyon suları ve fabrika atıkları su kirliliğine neden olmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan su kirliliği hem insanları hem de tüm doğayı etkilemektedir (Yozgat, 2020).

Bireysel tüketim alışkanlıklarına dikkat edilerek su korunmalıdır (URL-1). Su tasarrufu, tatlı suyu sürdürülebilir bir kaynak olarak yönetmek, suyu korumak ve insanların şimdiki ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla belirlenen kuralları, stratejileri ve faaliyetleri kapsar. Su tasarrufu, enerji tüketimini azaltır ve hane halkının ekonomik açıdan tasarruf yapmasına da olanak tanır (Lal vd., 2023). İnsanlar su faturasının yüksek olması, tasarrufa yönelik ilgi ve barajlardaki su doluluk oranının düşmesi nedenleri ile su tasarrufu yapmaya yönelmektedirler (Yalılı-Kılıç, 2017). Günlük evsel su kullanımını etkileyen temel değişkenler (Ogunbode vd. 2023) Şekil 1'de verilmiştir.

Alışkanlıkların değiştirilmesi ve günlük yaşamda suyun daha verimli kullanılması ile birlikte, her birey günlük yaklaşık 5 damacana su tasarrufu sağlayabilir. Bu kapsamda, suyu verimli kullanmaya imkân sunan cihaz, ekipman ve aparatlar tercih edilerek, günlük yaşamda su kullanım alışkanlıklarında yapılacak küçük değişiklikler ile önemli ölçüde su tasarrufu sağlanabilir (URL-3). Bu bağlamda uzun vadeli çözümler aranmalı ve insanların su tasarrufuna yönelik davranışlarını değiştirmeye yardımcı olabilecek su tasarrufu ekipmanlarının satın alınabilmesi için yardımlar sunulmalıdır (Rasool & Saeed, 2026).



Şekil 1. Günlük evsel su kullanımını etkileyen temel değişkenler (Ogunbode vd. 2023)

Yaşamımızı devam ettirebilmeye uygun nitelikteki suyun miktarının sınırlı olması nedeni ile mevcut su kaynaklarının doğru ve etkin bir şekilde kullanımı son derece önemlidir (Yahılı-Kılıç, 2017). Su kaynaklarının korunması ve etkin kullanılması için su verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması son derece önemlidir. Bu bağlamda binalarda azalt, yeniden kullan ve değiştir olmak üzere su verimliliği stratejileri uygulanmalıdır (URL-4).

Azalt stratejileri (URL-4):

- El yıkama, diş fırçalama ve tıraş olma sırasında suyun gerekli olmadığı anlarda musluk kapatılarak su kullanımı günde 23 litre azaltılabilir.
- Su tesisatındaki sızıntılar giderilerek su kullanımı yılda 660 damacanaya kadar azaltılabilir.
- Duş süresi 7 dakika veya daha da kısaltılarak su kullanımı yılda 55 ton azaltılabilir.
- Çamaşır ve bulaşık makineleri tam dolu olacak şekilde çalıştırılarak su kullanımı azaltılabilir.
- Sebze ve meyveler su dolu kap içinde yıkanarak su kullanımı azaltılabilir.
- Klozet rezervuarına 1,5 litrelik su şişesi yerleştirilerek su kullanımı azaltılabilir.
- Araba, halı ve balkonları temizlerken tasarruflu yöntemler tercih edilerek, mümkünse sadece silme ile su kullanımı azaltılabilir.
- Sulama buharlaşmanın az olacağı sabahın erken saatlerinde ya da akşam yapılarak su kullanımı azaltılabilir.

- Su verimliliği ile ilgili bilgilendirici ve farkındalığı artırıcı talimatlar genel kullanım alanlarına asılarak su kullanımı azaltılabilir.
- Lavabo ve eviyelerde 6 L/dk, duşlarda 8 L/dk'yı aşmayacak şekilde musluk ve batarya kullanılarak su kullanımı azaltılabilir.
- Muslukların altında yer alan vana kısılarak ve musluk uçlarına perlatör takılarak su kullanımı azaltılabilir (URL-4).

Yeniden kullan stratejileri (URL-4):

- Yağmur suyu toplama ile elde edilen su özellikle bahçe sulamada yeniden kullanılabilir.
- Gri su sistemi ile lavabo ve duşlarda kullanılan su farklı alanlarda yeniden kullanılabilir.
- Suyun ısınması sürecinde bir kaptan toplanan su temizlikte, çiçek sulamada yeniden kullanılabilir.
- Sebze ve meyvelerin yıkandığı su, çiçek sulama vb. amaçlarla yeniden kullanılabilir.
- Alternatif su kaynakları içinde yeri son derece önemli olan yağmur suyu, uygulama kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir.
- Toplanan yağmur suyu temizlik, tuvalet rezervuarları, araç yıkama, iç mekân ısıtma, endüstrilerde proses suyu, yeşil alan sulama vb. olmak üzere farklı alanlarda kullanılabilir.
- Evsel kullanım neticesinde açığa çıkan gri sular basit bir ön arıtma işleminin ardından otel, okul, hastane, toplu konutlar ve kamu binalarında yeniden kullanılabilir (URL-4).

Değiştir stratejileri (URL-4):

- Klasik musluklar yerine sensörlü ve düşük basınçlı musluk, batarya ve perlatör tercih edilerek %50 oranında su tasarrufu sağlanabilir.
- Klasik duş başlıkları yerine düşük akışlı, eko havalandırmalı duş başlıkları tercih edilerek su tasarrufu sağlanabilir.
- Çok su tüketen sifonlar yerine çift kademeli, tasarruflu sifon sistemleri tercih edilerek %75'e varan oranlarda su tasarrufu sağlanabilir.
- Sızdıran ve arızalı tesisat tamir edilerek ya da değiştirilerek su israfı önlenir.
- Peyzaj alanlarında kuraklığa dayanıklı olan ve az su isteyen bitkiler tercih edilerek su tasarrufu sağlanabilir.
- Geleneksel sulama sistemleri yerine verimli sulama sistemleri tercih edilebilir.
- Su ve enerji tasarrufu sağlayan bulaşık ve çamaşır makineleri tercih edilebilir.
- Kuraklığa karşı dayanıklı olan ve az su isteyen bitkiler yetiştirilerek peyzaj düzenlemesi yapılabilir.
- Çim yerine malç kullanılabilir (URL-4).

Özetlenecek olursa sorumlu birer vatandaş olarak, basit önlemler alarak su tasarrufu yapabiliriz (Lal vd., 2023).

- Kullanılmadığında musluğu kapalı tutmak.
- Su dağıtım borularında çatlak veya sızıntı olup olmadığını kontrol etmek.
- Bahçe işleri veya yıkama işleri için toplanan yağmur suyunu kullanmak.
- Günde kaç litre su israf edildiğini her zaman takip etmek ve bu miktarı azaltmaya çalışmak.
- Giysileri, mutfak eşyalarını vb. yıkarken ve temizlerken gereğinden fazla su akıtmamak.
- Banyo süresini uzatmamak. Kovalarca suyu boşa harcamaktansa hızlı bir duş almak.

- Yağmur suyu toplamak, su tasarrufu için kullanılan en iyi yöntemlerden biridir (Lal vd., 2023).

Dünya üzerindeki tatlı su kaynakları sınırlı olduğu ve dengesiz dağıldığı için su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir şekilde kullanımı zorunludur. Bununla birlikte su kaynaklarının gelecek nesillere sağlıklı bir şekilde aktarılabilmesi için eğitim programları, sosyal medya kampanyaları ve topluluk etkinlikleri gibi farkındalık artırmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır (URL-5).

Dünyanın birçok bölgesi su kıtlığıyla karşı karşıyadır. Su tasarrufuna katkıda bulunmak için, bu bölgelerdeki toplulukların günlük yaşamda suyu nasıl kullandıklarını ve yönettiklerini anlamak önemlidir. Bu bağlamda yemek pişirme, içme, saç yıkama, çamaşır yıkama, temizlik, bahçe işleri gibi çeşitli evsel günlük faaliyetler ve hanelerdeki su kullanım alışkanlıkları ele alınmaktadır (Rasool & Saeed, 2026). Hane halkının günlük su kullanımını belirleyen bir diğer önemli faktör, yemek pişirmeyi de içeren ev işleridir. Çamaşır yıkama, temizlik ve banyo gibi evde suyun kullanıldığı diğer faaliyetler bir süreliğine askıya alınabilir. Oysa hane halkının besleme ihtiyacı her gün kaçınılmazdır ve bu da yemek pişirmek için su kullanımını zorunlu kılar (Ogunbode vd. 2023).

Su kaynaklarının yönetilebilmesi için su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması gereklidir (Kırtorun & Karaer, 2018). Kaynakların tasarruflu kullanılması ile ilgili olarak küçük yaşlardan itibaren öğrencilere farkındalık kazandırma bağlamında sorumlu olan öğretmenlere, öğretmen adaylarına ve ailelere düşen görev son derece önemlidir (Yüksel, 2020).

Suyun tasarrufunda farkındalık önemli bir rol oynamaktadır. Tüketiciler daha fazla farkındalığa sahip olduklarında daha az israf ederler ve suyu daha sorumlu bir şekilde kullanırlar. Ancak farkındalık tek başına yeterli değildir. Sürdürülebilirlik için güçlü bir altyapıya, elverişli bir ortama ve teşvik mekanizmalarına ihtiyaç vardır. Su tasarrufu farkındalıkla başlar, ancak anlamlı ve kalıcı bir değişim, toplum öncülüğündeki girişimlere ve eğitime bağlı olacaktır (Rasool & Saeed, 2026).

İnsanların çevre bilinci ve su tasarrufuna yönelik farkındalığı bireysel davranışlarının önemli belirleyicileridir (Ogunbode vd. 2023). Öyle ki, bilişsel farkındalık ile davranış arasında gözle görülür bir tutarsızlık olması dikkat çekmektedir. Öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma konusundaki yüksek bilişsel farkındalıkları, davranışlarına yalnızca kısmen yansımaktadır (Akyüz & Erdemir, 2026). Yaşam için önemi günden güne artan suyun kullanımı, korunması ve gelecek nesillere de sürdürülebilir bir biçimde devredilebilmesi için su ile ilgili temel bilgilere ve olumlu tutuma sahip olarak bunu yaşam biçimine dönüştürmüş bireyler gereklidir (Sözcü & Türker, 2020).

Bireylerin günlük yaşamda suyun tasarruflu kullanımına yönelik farkındalıkları davranışlarını da etkilemektedir. Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir gelecek için günlük yaşamda suyun tasarruflu kullanımına yönelik farkındalıklarının incelenmesi amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Araştırma Modeli

Araştırmada nitel araştırma yöntemi olan olgubilim (fenomenoloji) deseni kullanılmıştır. Olgubilim (fenomenoloji), bireylerin yaşadıkları bir olguyu nasıl deneyimlediklerini ve bu

deneyimin onlar için taşıdığı anlamı kendi ifadeleriyle ortaya koymayı amaçlamaktadır (Christensen vd., 2015).

Araştırma Grubu

Araştırmaya eğitim fakültesinde üçüncü sınıfta öğrenim görmekte olan 14 (13 kız, 1 erkek) ve dördüncü sınıfta öğrenim görmekte olan 17 (12 kız, 5 erkek) olmak üzere toplam 31 fen bilgisi öğretmen adayı gönüllü olarak katılmıştır.

Veri Toplama Aracı

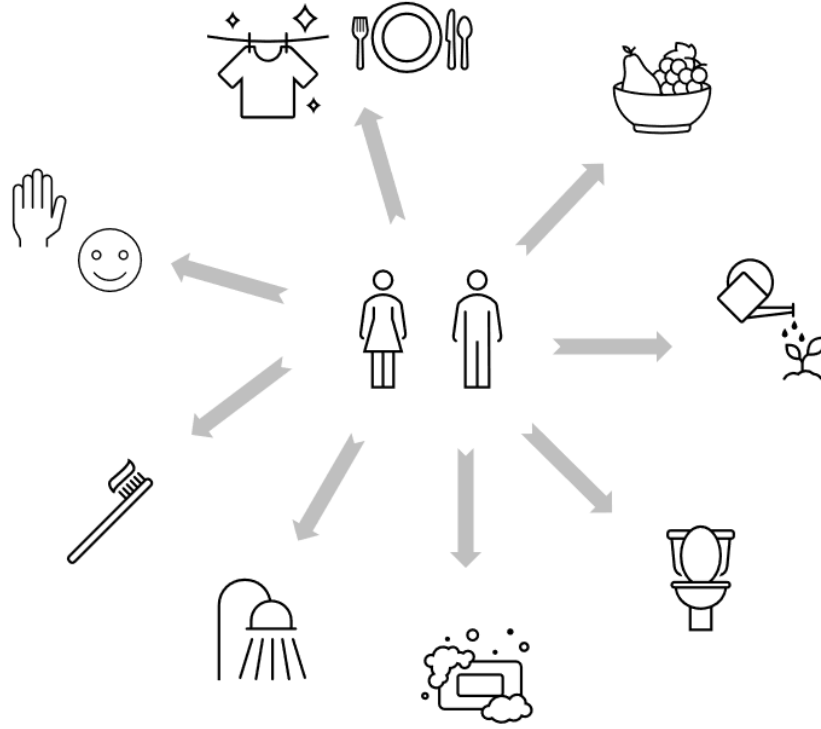
Veri toplama aracı olarak ulusal ve uluslararası alan yazında yer alan araştırmalar incelenerek araştırmacılar tarafından hazırlanan Kişisel Bilgi Formu ve Sürdürülebilir Gelecek için Günlük Yaşamda Suyun Tasarruflu Kullanımı Farkındalık Formu kullanılmıştır.

Kişisel Bilgi Formu

Kişisel bilgi formunda öğrenim görmekte oldukları sınıf, cinsiyet ve aileleri ile birlikte yaşadıkları yeri içeren sorular yer almaktadır.

Sürdürülebilir Gelecek için Günlük Yaşamda Suyun Tasarruflu Kullanımı Farkındalık Formu

Farkındalık formunda günlük yaşamda suyu en fazla hangi amaç için kullandıkları; aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde etkili olan en önemli faktör; aile bireylerini, yakın çevrelerindeki insanları (akraba, arkadaş, komşu vb.), tanımadıkları/yabancı insanları suyun tasarruflu kullanımı için uyarma durumları; aile bireyleri arasında suyu tasarruflu ve israf ederek kullanan kişiler; aileleri ile birlikte yaşadıkları evde el/yüz yıkama, diş fırçalama, duş alma/banyo yapma, sabun/şampuan/deterjan kullanımı, sifon kullanımı, çiçek/ağaç sulama, meyve/sebze yıkama, çamaşır ve bulaşık yıkama olmak üzere günlük yaşamdan örnek durumlarda suyun tasarruflu kullanımı ile ilgili neler yaptıklarını içeren sorular yer almaktadır. Öğretmen adayları için suyun günlük yaşamda kullanım alanlarının modellenmesi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Öğretmen adayları için suyun günlük yaşamda kullanım alanlarının modellenmesi

Verilerin Toplanması

Araştırmaya katılan fen bilgisi öğretmen adaylarından Kişisel Bilgi Formunda ve Sürdürülebilir Gelecek için Günlük Yaşamda Suyun Tasarruflu Kullanımı Farkındalık Formunda yer alan sorulara bir ders saati içinde yazılı olarak cevap vermeleri istenmiştir.

Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında elde edilen veriler içerik analiz ile çözümlenmiştir. Cevap kâğıtları incelenmiş, her öğretmen adayının cevap kâğıdına bireysel numara verilmiş ve cevaplar mevcut hali ile Word dosyasına yazılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Analiz edilen veriler için araştırmanın kavramsal çerçevesi ve ilgili araştırma sorusuna dikkat edilerek verilerin taşıdığı anlamı içeren kodlar ile anlamsal açıdan ilişkili olan kodlar için uygun kategoriler yazılmıştır. Kategorilere ve kodlara ait frekans ve yüzde değerleri hesaplanmış, tablolar halinde sunulmuş ve bu tablolar yorumlanmıştır.

BULGULAR

Kişisel Bilgi Formundan Elde Edilen Bulgular

Fen bilgisi öğretmen adaylarının sınıf, cinsiyet ve ailesi ile birlikte yaşadığı yer için verdikleri cevaplar analiz edilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Öğretmen adaylarının sınıf, cinsiyet ve ailesi ile birlikte yaşadığı yer için frekans ve yüzde değerleri

Kategori	Kod	3. Sınıf		4. Sınıf	
		f	%	f	%
Cinsiyet	Kız	13	92,86	12	70,59
	Erkek	1	7,14	5	29,41
	Toplam	14	100	17	100
Ailesi ile birlikte yaşadığı yer	İl	9	64,29	6	35,29
	İlçe	4	28,57	8	47,06
	Kasaba	0	0	0	0
	Köy	1	7,14	3	17,65
	Toplam	14	100	17	100

Araştırmada üçüncü sınıfta öğrenim görmekte olan 14 (13 kız, 1 erkek) ve dördüncü sınıfta öğrenim görmekte olan 17 (12 kız, 5 erkek) olmak üzere toplam 31 fen bilgisi öğretmen adayı yer almıştır. Üçüncü sınıftaki öğretmen adayları ailesi ile birlikte çoğunlukla ilde (%64,29), dördüncü sınıftaki öğretmen adayları ise çoğunlukla ilçede (%47,06) yaşamaktadır.

Sürdürülebilir Gelecek için Günlük Yaşamda Suyun Tasarruflu Kullanımına Yönelik Farkındalık Formu

Fen bilgisi öğretmen adaylarının günlük yaşamda suyu en fazla kullandığı amaç için verdikleri cevaplar analiz edilmiş ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Öğretmen adaylarının günlük yaşamda suyu en fazla kullandığı amaç için frekans ve yüzde değerleri

Kategori	Kod	3. Sınıf		4. Sınıf	
		f	%	f	%
Genel temizlik	Temizlik	1	7,14	9	52,94
	Bulaşık yıkamak	1	7,14	0	0
Genel temizlik-Besin/gıda	Mutfak işleri	1	7,14	0	0
Kişisel temizlik	Duş almak	6	42,86	3	17,65
	Kişisel bakım	1	7,14	3	17,65
	El yıkamak	1	7,14	1	5,88
	El-yüz yıkamak	1	7,14	0	0
Genel/Kişisel temizlik-Besin/gıda	Genel ihtiyaçlar	0	0	1	5,88
Besin/gıda	İçmek	2	14,29	0	0
Toplam		14	100	17	100

Tablo 2 incelendiğinde günlük yaşamda suyu en fazla kullandığı amaç için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %42,86’sı duş almak, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %52,94’ü temizlik cevabını vermiştir.

Fen bilgisi öğretmen adaylarının aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde etkili olan en önemli faktör için verdikleri cevaplar analiz edilmiş ve Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Öğretmen adaylarının aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde etkili olan en önemli faktör için frekans ve yüzde değerleri

Kategori	Kod	3. Sınıf		4. Sınıf	
		f	%	f	%
Sorumluluk	Bilinçli tüketici olmak	3	21,43	4	23,53
	Su israfını önlemek	1	7,14	1	5,88
	Dünyadaki su sorunu ile savaşmak	0	0	1	5,88
Su miktarı	Su kıtlığı	2	14,29	3	17,65
	Su kaynaklarının azalması	1	7,14	2	11,76
	Su kaynaklarının sınırlı olması	1	7,14	0	0
Susuzluğun etkileri	Kuraklık	0	0	2	11,76
	Su kesintileri	0	0	2	11,76
Su ile ilgili bilgilendirmeler	Uzmanların uyarıları	1	7,14	1	5,88
	Su kıtlığı ile ilgili haberler	1	7,14	0	0
Su ile ilgili kaygılar	Gelecekte de kullanma isteği	0	0	1	5,88
	Susuz kalmama isteği	1	7,14	0	0
Yok		1	7,14	0	0
Boş		2	14,29	0	0
Toplam		14	100	17	100

Tablo 3 incelendiğinde aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde etkili olan en önemli faktör için üçüncü ve dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının çoğu bilinçli tüketici olmak (S3:%21,43; S4:%23,53) ve su kıtlığı (S3:%14,29; S4:%17,65) cevabını vermiştir.

Fen bilgisi öğretmen adaylarının insanları suyun tasarruflu kullanımına yönelik uyarma durumları için verdikleri cevaplar analiz edilmiş ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Öğretmen adaylarının insanları suyun tasarruflu kullanımına yönelik uyarma durumları için frekans ve yüzde değerleri

Kategori	Kod	3. Sınıf		4. Sınıf		
		f	%	f	%	
Suyu tasarruflu kullanmaları için insanları uyarma	Aile bireylerini	Evet	12	85,71	14	82,35
		Hayır	2	14,29	3	17,65
		Toplam	14	100	17	100
	Yakın çevresindeki insanları (akraba, arkadaş, komşu vb.)	Evet	9	64,29	10	58,82
		Hayır	5	35,71	7	41,18
		Toplam	14	100	17	100
	Tanımadığı/yabancı insanları	Evet	3	21,43	0	0
		Hayır	11	78,57	17	100
		Toplam	14	100	17	100

Tablo 4 incelendiğinde üçüncü ve dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının çoğunun aile bireylerini (S3:%85,71; S4:%82,35) ve yakın çevresindeki insanları (akraba, arkadaş, komşu vb.) (%64,29; %58,82) suyu tasarruflu kullanmaları için uyardıkları görülmektedir. Buna karşın tanımadığı/yabancı insanları suyu tasarruflu kullanmaları için sadece üçüncü sınıftaki üç öğretmen adayı uyardığını ifade etmiştir. Bazı öğretmen adayları “Uyarmıyorum çünkü insanlar nedense her şeye çok agresif direk. -Sanane ben mi kurtarıcam- diye sert geri dönüşler alabiliyorum.” (ÖA1), “İnsanların tepkilerinden dolayı uyarı yapmadım.” (ÖA2), “Yabancı insanları uyarmıyorum sana ne derler diye.” (ÖA11) gibi gerekçelerle uyarmadıklarını belirtmişlerdir.

Fen bilgisi öğretmen adaylarının aile bireyleri arasında suyu tasarruflu ve israf ederek kullanan kişiler için verdikleri cevaplar analiz edilmiş ve Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Öğretmen adaylarının aile bireyleri arasında suyu tasarruflu ve israf ederek kullanan kişiler için frekans ve yüzde değerleri

Kategori	Kod	3. Sınıf		4. Sınıf	
		f	%	f	%
Aile bireyleri arasında suyu tasarruflu kullanan	Anne	8	57,14	5	29,41
	Baba	3	21,43	8	47,06
	Anne-baba	0	0	1	5,88
	Abi	1	7,14	0	0
	Abla	0	0	1	5,88
	Kendisi	1	7,14	2	11,76
	Boş	1	7,14	0	0
	Toplam	14	100	17	100
Aile bireyleri arasında suyu israf ederek kullanan	Kardeş	5	35,71	5	29,41
	Erkek kardeş	2	14,29	2	11,76
	Abi	1	7,14	2	11,76
	Kendisi	3	21,43	2	11,76
	Anne	0	0	4	23,53
	Kız kardeş	1	7,14	0	0
	Abla	1	7,14	0	0
	Yok	0	0	1	5,88
	Boş	1	7,14	1	5,88
	Toplam	14	100	17	100

Tablo 5 incelendiğinde aile bireyleri arasında suyu tasarruflu kullanan kişi için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %57,14’ü anne, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %47,06’sı baba cevabını vermiştir. Üçüncü ve dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının çoğu kardeşinin suyu israf ederek kullandığını ifade etmiştir. Bununla birlikte dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %23,53’ü annesinin suyu israf ederek kullandığını belirtmiştir.

Fen bilgisi öğretmen adaylarının aileleri ile birlikte yaşadıkları evde el/yüz yıkama, diş fırçalama, duş alma/banyo yapma, sabun/şampuan/deterjan kullanımı, sifon kullanımı, çiçek/ağaç sulama, meyve/sebze yıkama, çamaşır ve bulaşık yıkama olmak üzere günlük yaşamdan örnek durumlarda suyun tasarruflu kullanımı ile ilgili neler yaptıklarına ilişkin verdikleri cevaplar analiz edilmiş ve Tablo 6 ... Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 6. Öğretmen adaylarının el/yüz yıkamada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

El/yüz yıkama		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Kullanım miktarı	Sabunlama sırasında suyu/musluğu kapatma	4	28,57	0	0
	Suyu/musluğu az açma	2	14,29	4	23,53
	Yıkama sonrasında suyu/musluğu hemen kapatma	1	7,14	0	0
	Sabunlama sırasında suyu/musluğu açma	1	7,14	0	0
Sorumluluk	Tasarruflu kullanma	1	7,14	4	23,53
Kullanım süresi	Kısa sürede yıkama	0	0	1	5,88
Herhangi bir şey yapmama		5	35,71	8	47,06
Toplam		14	100	17	100

Tablo 6 incelendiğinde üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %28,57'sinin el/yüz yıkamada suyun tasarruflu kullanımı için sabunlama sırasında suyu/musluğu kapattıklarını; üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %14,29'unun ve dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %23,53'ünün ise suyu/musluğu az açtıklarını belirttikleri görülmektedir. Buna karşın üçüncü sınıftaki bir öğretmen adayı sabunlama sırasında suyu/musluğu açtığını; üçüncü sınıftaki beş (%35,71) ve dördüncü sınıftaki sekiz (%47,06) öğretmen adayı ise herhangi bir şey yapmadığını ifade etmiştir.

Tablo 7. Öğretmen adaylarının diş fırçalamada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Diş fırçalama		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Kullanım miktarı	Diş fırçalama sırasında suyu / musluğu kapatma	14	100	15	88,24
	Musluğu az açma	0	0	1	5,88
Herhangi bir şey yapmama		0	0	1	5,88
Toplam		14	100	17	100

Tablo 7 incelendiğinde diş fırçalamada suyun tasarruflu kullanımı için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının tamamının, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %88,24'ünün diş fırçalama sırasında suyu/musluğu kapattıklarını belirttikleri görülmektedir.

Tablo 8. Öğretmen adaylarının duş alma/banyo yapmada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Duş alma/banyo yapma		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Kullanım süresi	Duş/banyo süresini kısaltma	2	14,29	8	47,06
Kullanım miktarı	Duş bitince suyu hemen kapatma	2	14,29	1	5,88
	İhtiyaç kadar su kullanma	0	0	2	11,76
Herhangi bir şey yapmama		10	71,43	6	35,29
Toplam		14	100	17	100

Tablo 8 incelendiğinde duş alma/banyo yapmada suyun tasarruflu kullanımı için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %14,29'unun, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %47,06'sının duş/banyo süresini kısalttığını belirttiği görülmektedir. Buna karşın üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %71,43'ü, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %35,29'u herhangi bir şey yapmadığı ifade etmiştir.

Tablo 9. Öğretmen adaylarının sabun/şampuan/deterjan kullanımında suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Sabun/şampuan/ deterjan kullanımı		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Su kullanım miktarı	Köpürtürken suyu kapatma	1	7,14	1	5,88
	Daha az suyla yıkama	1	7,14	1	5,88
Sabun/şampuan/deterjan kullanım miktarı	Daha az miktarda kullanma	1	7,14	1	5,88
	Yeteri kadar kullanma	1	7,14	1	5,88
Herhangi bir şey yapmama		8	57,14	13	76,47
Boş		2	14,29	0	0
Toplam		14	100	17	100

Tablo 9 incelendiğinde sabun/şampuan/deterjan kullanımında suyun tasarruflu kullanımı için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %57,14'ünün, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %76,47'sinin herhangi bir şey yapmadığını ifade ettiği görülmektedir.

Tablo 10. Öğretmen adaylarının sifon kullanımında suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Sifon kullanımı		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Kullanım sıklığı	Her tuvaletten sonra kullanma	2	14,29	0	0
Kullanım miktarı	Küçük tuvaletten sonra küçük sifonu kullanma	1	7,14	0	0
	Yarım sifon kullanma	0	0	1	5,88
Herhangi bir şey yapmama		11	78,57	16	94,12
Toplam		14	100	17	100

Tablo 10 incelendiğinde sifon kullanımında suyun tasarruflu kullanımı için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %78,57'sinin, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %94,12'sinin herhangi bir şey yapmadığını ifade ettiği görülmektedir.

Tablo 11. Öğretmen adaylarının çiçek/ağaç sulamada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Çiçek/ağaç sulama		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Kullanım miktarı	İhtiyacı kadar sulama	4	28,57	2	11,76
	Daha az su kullanma	0	0	2	11,76
Kullanılan suyun niteliği	Bekletilmiş su kullanma	1	7,14	0	0
	Artan sularla sulama	1	7,14	2	11,76
	Meyve/sebze yıkanan suyu kullanma	0	0	1	5,88
Kullanım zamanı	Kışın sulamama	0	0	1	5,88
Kullanım şekli	Sulama sistemleri kullanma	0	0	1	5,88
Herhangi bir şey yapmama		8	57,14	8	47,06
Toplam		14	100	17	100

Tablo 11 incelendiğinde çiçek/ağaç sulamada suyun tasarruflu kullanımı için üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %28,57'sinin, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %11,76'sının bitkilere ihtiyacı kadar su verdiklerini belirttikleri görülmektedir. Buna karşın üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %57,14'ü, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %47,06'sı herhangi bir şey yapmadığını ifade etmiştir.

Tablo 12. Öğretmen adaylarının meyve/sebze yıkamada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Meyve/sebze yıkama		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Kullanım şekli	Kabın içine su doldurup yıkama	1	7,14	6	35,29
Sorumluluk	Çok israf etmeme	1	7,14	2	11,76
Kullanım miktarı	Karbonat veya sirke ile yıkayarak suyu az kullanma	1	7,14	0	0
	Temiz olduğundan emin olana kadar yıkama	1	7,14	0	0
	Az su ile yıkama	1	7,14	2	11,76
Herhangi bir şey yapmama		9	64,29	7	41,18
Toplam		14	100	17	100

Tablo 12 incelendiğinde dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %35,29'unun suyun tasarruflu kullanımı için meyveleri/sebzeleri kabın içine su doldurup yıkadıklarını belirttikleri görülmektedir. Buna karşın üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %64,29'u, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının ise %41,18'i herhangi bir şey yapmadığını ifade etmiştir.

Tablo 13. Öğretmen adaylarının çamaşır yıkamada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Çamaşır yıkama		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Yıkama şekli	Çoğunlukla makinede	13	92,86	17	100
	Çoğunlukla elde	0	0	0	0
	Boş	1	7,14	0	0
	Toplam	14	100	17	100
Program türü	Uzun programda	8	57,14	7	41,18
	Kısa programda	1	7,14	9	52,94
	Kısa/uzun program belirtmeme	4	28,57	1	5,88

Tablo 13 incelendiğinde üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %92,86'sının, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının tamamının çamaşırları çoğunlukla makinede yıkadığını ifade ettikleri görülmektedir. Çamaşırları çoğunlukla makinede yıkadığını belirten öğretmen adayları daha çok uzun programı tercih etmektedir.

Tablo 14. Öğretmen adaylarının bulaşık yıkamada suyun tasarruflu kullanımına yönelik yaptıkları için frekans ve yüzde değerleri

Bulaşık yıkama		3. Sınıf		4. Sınıf	
Kategori	Kod	f	%	f	%
Yıkama şekli	Çoğunlukla makinede	13	92,86	13	76,47
	Çoğunlukla elde	0	0	4	23,53
	Boş	1	7,14	0	0
	Toplam	14	100	17	100
Program türü	Uzun programda	4	28,57	7	41,18
	Kısa programda	3	21,43	5	29,41
	Kısa/uzun program belirtmeme	6	42,86	1	5,88

Tablo 14 incelendiğinde üçüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %92,86'sının, dördüncü sınıftaki öğretmen adaylarının %76,47'sinin bulaşıkları çoğunlukla makinede yıkadığını ifade ettikleri görülmektedir. Bulaşıkları çoğunlukla makinede yıkadığını belirten dördüncü sınıftaki öğretmen adayları daha çok uzun programı tercih ederken, üçüncü sınıftaki öğretmen adayları kısa/uzun olmak üzere program türünü belirtmemiştir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırmada, az sayıda fen bilgisi öğretmen adayı tarafından verilen sınırlı cevaplar bağlamında fen bilgisi öğretmen adaylarının günlük yaşamda suyun tasarruflu kullanımına yönelik farkındalıklarının düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar alan yazındaki farklı çalışmalar ile desteklenmektedir.

Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adayları günlük yaşamda suyu en fazla duş almak ve temizlik için kullandıklarını belirtmişlerdir. Nitekim evlerde su daha çok tuvalet ve duş ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılmaktadır (URL-1).

Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adayları aylık su tüketim miktarlarını sınırlamaları üzerinde daha çok bilinçli tüketici olmanın ve su kıtlığının etkili birer faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Öyle ki, bireyin çevre sorunlarına duyduğu ilginin artması, kişisel amaçlar için kullanılan su miktarına dikkat etme olasılığını artırmakta ve hiç dikkat etmeme olasılığını azaltmaktadır (Kwakwa vd., 2023).

Dünya nüfusundaki artış dikkate alındığında doğal kaynakların yeterliliği sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle kaynakların bilinçli bir şekilde ve tasarruflu kullanılması gereklidir. Bilinçsizce harcanan kaynaklar doğal dengede bozulmaya neden olmaktadır (Yüksel, 2020). Öte yandan alan yazında, su kıtlığının hane halkının günlük su kullanım pratikleri ve farkındalık düzeyiyle yakından ilişkili olduğu ortaya koyulmaktadır. Su kıtlığının, doğal kaynakların yetersizliğinin yanı sıra su israfı, düşük farkındalık ve yetersiz altyapı koşullarından da kaynaklandığı belirtilmektedir. Bu bağlamda, su tasarrufuna yönelik farkındalığın artırılması, hane halkı düzeyinde sürdürülebilir su kullanımını destekleyerek su kıtlığının azaltılmasına katkı sağlayabilir (Rasool & Saeed, 2026). Buna ilaveten, Kwakwa ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada, kadın cinsiyetinin su tasarrufu davranışı üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yağmur yağdığında katılımcıların yaklaşık %84'ü suyu depolamaktadır. Kadınların yağmur suyu toplaması ve hane halkı su tüketiminde daha tasarruflu davranması, su temininin kadınların sorumluluğunda olması ve su kıtlığından daha fazla etkilenmeleriyle ilişkilendirilmektedir.

Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adaylarının önemli bir bölümü aile bireylerini ve yakın çevrelerindeki insanları (akraba, arkadaş, komşu vb.) suyu tasarruflu kullanmaları için uyardıklarını, buna karşın tanımadıkları/yabancı insanları suyu tasarruflu kullanmaları için uyarmadıklarını ifade etmişlerdir. Öyle ki, pedagojik formasyon öğrencileri çevrelerinde suyu israf eden birini gördüklerinde uyarmaktadırlar (Bulut & Şahin, 2020). Bu kapsamda Beşiktepe ve Çelikler (2023) tarafından yapılan çalışmada öğretmen adaylarının %36,1'i çevrede suyu israf eden bir kişiyi uyarma davranışını her zaman; %32,5'i insanları su tasarrufu yapmaları konusunda teşvik etme davranışını sıkça yaptıklarını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Lal ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada aile bireylerine, arkadaşlarına ve komşularına su tasarrufu yapmalarını söylemeleri önerilmiştir. Özdilek ve Çalış (2022) tarafından yapılan çalışmada, fen bilgisi öğretmen adayları kendilerinin ve çevrelerindeki insanların yeterli bilgiye sahip olmadıklarını ve suyu israf ettiklerini belirtmişlerdir. Bu bağlamda su kaynaklarını korumak için bireysel olarak yapılabileceklerle ilişkin suyun tasarruflu kullanılması, su kaynaklarının kirletilmemesi, geri dönüşüme önem verilmesi ve insanların su tüketimine yönelik bilinçlendirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adayları çoğunlukla aile bireyleri arasında anne ve babanın suyu tasarruflu kullandıklarını, kardeşlerin ise suyu israf ederek kullandıklarını belirtmişlerdir. Bu araştırmada bazı fen bilgisi öğretmen adayları el/yüz yıkamada suyun tasarruflu kullanımı için sabunlama sırasında suyu/musluğu kapattıklarını ve suyu/musluğu az açtıklarını belirtmişlerdir. Buna karşın bir öğretmen adayı sabunlama sırasında suyu/musluğu açtığını ifade etmiştir. Rasool ve Saeed (2026) tarafından yapılan çalışmada, yüz yıkarken katılımcıların %36,9'u musluğu açık bırakmış, %30'u kapalı tutmuş ve %33,1'i bazen açık bıraktığını belirtmiştir. Musluğu açık bırakma davranışının, su israfına dair işaretler gösterdiğine değinmişlerdir. Benzer şekilde, farkındalık ile su tasarrufu uygulamaları arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu araştırmada fen bilgisi öğretmen adaylarının önemli bir bölümü dış fırçalama suyun tasarruflu kullanımı için dış fırçalama sırasında suyu/musluğu kapattıklarını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, pedagojik formasyon öğrencileri dış fırçalarken musluğu kapatmaktadırlar (Bulut & Şahin, 2020). Lal ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada, katılımcıların %34'ünün dış fırçalarken musluğu kapattığı belirlenmiştir. Eraslan ve Seçme (2021) tarafından yapılan çalışmada, üniversite öğrencilerinin çeşmeyi gereksiz yere açmayarak (dış fırçalama, traş olma vb.) su tasarrufuna dikkat ettikleri anlaşılmıştır. Beşiktepe ve Çelikler (2023)

tarafından yapılan çalışmada, fen bilgisi öğretmen adaylarının %74,7'si dişlerini fırçalama sürecinde musluğu kapatma davranışını her zaman yaptıklarını ifade etmiştir. Çamur ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, üniversite öğrencilerinin %86,5'i sıkça/her zaman diş fırçalarken/tıraş olurken musluğu kapattığını belirtmiştir.

Bu çalışmada bazı fen bilgisi öğretmen adayları duş alma/banyo yapmada suyun tasarruflu kullanımı için duş/banyo süresini kısalttıklarını belirtmişlerdir. Buna karşın, herhangi bir şey yapmayan öğretmen adaylarının da varlığı dikkat çekmektedir. Nitekim, banyo yerine duşu tercih ederek, daha kısa süreli banyo yaparak su tasarrufu sağlanabilir (Lal vd., 2023). Irimia ve diğerleri (2025) tarafından yapılan araştırmaya göre, küvette banyo yapma alışkanlığı olan katılımcıların çoğunluğunu kadınlar ve kentsel bölgelerde yaşayan bireyler oluşturmaktadır. Duş alma alışkanlığında ise erkekler ve kentsel bölgelerde yaşayan bireyler daha yüksek orandadır. Eraslan ve Seçme (2021) tarafından yapılan çalışmada üniversite öğrencileri su tüketimi ile ilgili duşta uzun süre kalmamaya dikkat ettiklerini belirtmişlerdir.

Diş fırçalarken musluğu açık bırakmak ya da bir kova su ile hızlı banyo yerine uzun bir duş almayı tercih etmek gibi davranışlar bireysel tercihler olabilir, ancak bunlar daha geniş topluluğun normlarını ve hane halklarının içinde yer aldığı sosyo-teknik sistemleri yansıtmaktadır (Rasool & Saeed, 2026).

Bu çalışmada fen bilgisi öğretmen adaylarının önemli bir bölümü sabun/şampuan/deterjan kullanımında suyun tasarruflu kullanımı için herhangi bir şey yapmadıklarını ifade etmişlerdir. Öyle ki, sabunlanırken veya şampuanlanırken suyu kapatarak banyoda su tasarrufu sağlanabilir (Lal vd., 2023). Buna ilaveten, mimarlık fakültesi öğrencileri gerektiği kadar temizlik malzemesi kullanacaklarını belirtmişlerdir (Eraslan & Seçme, 2021).

Bu çalışmada fen bilgisi öğretmen adaylarının önemli bir bölümü sifon kullanımında suyun tasarruflu kullanımı için herhangi bir şey yapmadıklarını ifade etmişlerdir. Lal ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada, katılımcıların %24'ünün evinde çift kademeli sifon sistemi bulunduğu belirlenmiştir. Nitekim, eski tip tek kademeli sifonlar ile her kullanımda 15-25 litre su harcanır. Buna karşın yeni tip çift kademeli sifonlar ile maksimum 4-5 litre su harcanırken, 10-20 litre su tasarrufu sağlanmaktadır (URL-1). Bunu destekler nitelikte, mimarlık fakültesi öğrencileri çift basmalı tuvalet sifonlarını su tasarrufu açısından faydalı bulmaktadırlar (Eraslan & Seçme, 2021).

Bu çalışmada bazı fen bilgisi öğretmen adayları çiçek/ağaç sulamada suyun tasarruflu kullanımı için bitkilere ihtiyacı kadar su verdiklerini belirtmişlerdir. Buna karşın, herhangi bir şey yapmayan öğretmen adaylarının da varlığı dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada bazı fen bilgisi öğretmen adayları suyun tasarruflu kullanımı için meyveleri/sebzeleri kabın içine su doldurup yıkadıklarını belirtmişlerdir. Buna karşın, herhangi bir şey yapmayan öğretmen adaylarının da varlığı dikkat çekmektedir. Öyle ki, öğrenciler suya ihtiyaçları kalmadığında mutfak musluğunu kapatarak, meyve veya sebzeleri bir kâse suda bekletip yıkayarak mutfakta su tasarrufu yapabilirler (Lal vd., 2023).

Bu çalışmada fen bilgisi öğretmen adayları çamaşırları çoğunlukla makinede ve uzun programda yıkadıklarını ifade etmişlerdir. Pedagojik formasyon öğrencileri ise çamaşır makinesini tam dolmadan çalıştırmadıklarını belirtmişlerdir (Bulut & Şahin, 2020).

Bu çalışmada fen bilgisi öğretmen adayları bulaşıkları çoğunlukla makinede ve uzun programda yıkadıklarını ifade etmişlerdir. Çamur ve diğerleri (2020) tarafından yapılan çalışmada, üniversite öğrencilerinin %72,8'i çamaşır/bulaşık makinesini tam olarak dolmadan çalıştırmadıklarını belirtmişlerdir. Bulaşıklar için elde yıkamada kullanılan su, bulaşık makinesinde kullanılan suyun 3-6 kat daha fazlasıdır (URL-1). Öte yandan, mimarlık fakültesi

öğrencileri su tüketimi ile ilgili bulaşık ve çamaşır makinesini dolu olarak çalıştırmaya özen gösterdiklerini dile getirmişlerdir (Eraslan & Seçme, 2021).

ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, ailenin çocuğa vereceği eğitim de göz önünde bulundurularak, okul öncesi dönemden itibaren bireylerin günlük yaşamda suyun tasarruflu kullanımına yönelik farkındalıklarının artırılmasına yönelik teorik ve uygulamaya dayalı eğitim verilmesi önerilmektedir. Öyle ki çevre eğitimi, hem çevre üzerindeki etkilerinin farkında olan sorumlu vatandaşların yetiştirilmesine katkı sağlayabilir hem de uzun vadeli bir sürdürülebilirlik kültürünü geliştirebilir (Irimia vd., 2025).

KAYNAKLAR

- Akyüz, H.İ. & Erdemir, M. (2026). From scenario to action: The disconnect in prospective teachers' sustainability competencies. *Sustainability*, 18(6), 2990. <https://doi.org/10.3390/su18062990>
- Beşiktepe, G. & Çelikler, D. (2023). Fen bilgisi öğretmen adaylarının su tüketimi konusundaki davranışlarının belirlenmesi. *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, 9(72), 3742-3753.
- Bulut, S. & Şahin, G. (2020). Pedagojik formasyon öğrencilerinin su tüketim davranışları ile su ayak izlerinin incelenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3(2), 53-70.
- Christensen, L. B., Johnson, R. B., & Turner, L. A. (2015). *Araştırma Yöntemleri Desen ve Analiz* (Çev. Ed. Aypay, A.), (12. baskıdan çeviri), (2. baskı), Anı Yayıncılık. (Orijinal Basım 2014).
- Çamur, D., Konyalıoğlu, F.S., Ketrez, G., Güneş, İ.S., & Hasde, M. (2020). Bir üniversitenin bazı fakültelerinde okuyan öğrencilerin su tüketimi konusundaki bilgi, tutum ve davranışları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77(EK4: Su ve Sağlık), 165-178.
- Eraslan, Ş. & Seçme, D. (2021). Mimarlık Fakültesi öğrencilerinin ekolojik ayak izi farkındalık düzeyi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 481-491.
- Irimia, O., Tomozei, C., Panainte-Lehadus, M., Chitimus, D., Nedeff, F., Barsan, N., Mosnegutu, E., & Mirila, D. (2025). Understanding primary school students' knowledge and attitudes towards water management: Insights from environmental education. *Societies*, 15(4), 109. <https://doi.org/10.3390/soc15040109>
- Kırtorun, E. & Karaer, F. (2018). Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 151-159.
- Kwakwa, P. A., Arku, F. S., & Nanor, M. A. (2023). Determinants of water conservation practices among opinion leaders: Evidence from Kwahu East District, Ghana. *Development in Practice*, 33(1), 42-58. <https://doi.org/10.1080/09614524.2022.2040956>
- Lal, M., Sood, A., Thakur, P., & Kumar, A. (2023). Creating awareness on water conservation among students: A Hamirpur study. *International Journal of Advanced Community Medicine*, 6(2), 43-46. <https://doi.org/10.33545/comed.2023.v6.i2a.263>
- Ogunbode, T. O., Oyebamiji, V. O., Oluwale, O. A., & Akande, J. A. (2023). Analysis of household daily water consumption dynamics in the tropical environment. *Scientifica*, 9956847. <https://doi.org/10.1155/2023/9956847>
- Özdilek, Z. & Çalış, S. (2022). Topluma hizmet uygulamaları dersinde yürütülen “su ve eğitim hayatı” projesinin etkililiğine yönelik fen bilgisi öğretmen adaylarının görüşlerinin

- değerlendirilmesi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 5(1), 236-257.
<http://doi.org/10.33400/kuje.1062482>
- Özerdinç, F. & Hamalosmanoğlu, M. (2021). Ortaokul öğrencilerinin su ayak izi, su farkındalığı ve su okuryazarlığı hakkındaki görüşleri. *Anadolu Öğretmen Dergisi*, 5(2), 296-315.
- Rasool, A., & Saeed, S. (2026). Water scarcity, household practices, and conservation awareness in district Karak, Pakistan. *Discover Applied Sciences*, 8(5), 590.
<https://doi.org/10.1007/s42452-026-08633-x>
- Sözcü, U. & Türker, A. (2020). Su okuryazarlığı ölçeğinin geliştirilmesi. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 55(2), 1155-1168.
- URL-1: Suyun Dünyası. <https://sutema.org/> adresinden elde edilmiştir.
- URL-2: Su. <https://www.britannica.com/science/water> adresinden elde edilmiştir.
- URL-3: Bireysel Su Verimliliği. <https://www.suverimliliği.gov.tr/bireysel-su-verimliliği/> adresinden elde edilmiştir.
- URL-4: Su Verimliliği Sunum. <https://denizli.tarimorman.gov.tr/Lists/SolMenu/Attachments/72/05%20Binalarda%20Su%20Verimlili%C4%9Fi%20Sunum.pdf> adresinden elde edilmiştir.
- URL-5: Öğretmenler için Ortaokul ve Lise Sunum Rehberi. <https://www.suverimliliği.gov.tr/wp-content/uploads/2025/04/Ortaokul-Kilavuzu.pdf> adresinden elde edilmiştir.
- Yalılı-Kılıç, M. (2017). Bursa’da su kullanımının tüketici açısından değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 965-973.
- Yentür, M. M., Sözcü, U., & Aydınözü, D. (2022). Lise öğrencilerinin su okuryazarlık düzeylerinin tespit edilmesi: İstanbul ili örneği. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 41(1), 381-420.
- Yozgat, C. (2020). Suyun bir insan hakkı olarak değerlendirilmesi. *Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2, 507-545.
- Yüksel, İ. (2020). Fen bilgisi eğitimi anabilim dalındaki öğretmen adaylarının kaynakların tasarruflu kullanımı hakkındaki görüşleri. *OPUS–Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 15(22), 1015-1030.

OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU OLAN ÇOCUKLARIN EBEVEYNLERİNDE TÜKENMİŞLİK: RİSK FAKTÖRLERİ VE KORUYUCU ETMENLER

Abdulsamet GÜMLÜCE

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Psikoloji Bölümü, Samsun
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8768-6374>

Dr. Uğur KAÇMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Psikoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Samsun
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9051-3130>

Prof. Dr. Yeliz KINDAP TEPE

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Psikoloji Bölümü, Samsun
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0963-810X>

ÖZET

Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB), bireyin sosyal iletişim, etkileşim ve davranış alanlarını etkileyen yaşam boyu süren nörogelişimsel bir bozukluktur. OSB tanılı bir çocuğun bakımını üstlenmek; çocuğun gelişimsel ve davranışsal gereksinimleri, bakım sorumluluklarının sürekliliği ve geleceğe ilişkin belirsizlikler nedeniyle ebeveynler açısından önemli psikolojik ve sosyal güçlükler oluşturabilmektedir. Bu derlemenin amacı, OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde tükenmişlikle ilişkili risk ve koruyucu faktörleri güncel literatür doğrultusunda incelemek ve müdahale yaklaşımlarını değerlendirmektir. Literatür bulguları; çocuğun davranışsal güçlükleri ve yoğun destek gereksinimi, yüksek ebeveynlik stresi, bakım yükü, anksiyete ve depresif belirtiler, ekonomik güçlükler, yetersiz sosyal destek, aile içi sorunlar, sosyal izolasyon ve toplumsal damgalanmanın ebeveyn tükenmişliğiyle ilişkili önemli risk faktörleri olduğunu göstermektedir. Buna karşılık işlevsel başa çıkma stratejileri, algılanan sosyal destek, psikolojik sağlamlık, psikolojik esneklik ve aile içi dayanışma koruyucu faktörler olarak öne çıkmaktadır. Psikoeğitim, bilişsel davranışçı yaklaşımlar, kabul ve kararlılık terapisi, farkındalık temelli uygulamalar ve yapılandırılmış ebeveyn destek programları ebeveynlerin psikolojik uyumunu destekleyebilmektedir. Sonuç olarak ebeveyn tükenmişliğinin önlenmesinde bireysel, ailesel ve sosyal faktörleri birlikte ele alan bütüncül müdahalelerin geliştirilmesi ve profesyonel destek hizmetlerine erişimin güçlendirilmesi önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otizm Spektrum Bozukluğu, ebeveyn tükenmişliği, psikolojik sağlamlık, sosyal destek, başa çıkma stratejileri.

PARENTAL BURNOUT AMONG PARENTS OF CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER: RISK AND PROTECTIVE FACTORS

ABSTRACT

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a lifelong neurodevelopmental disorder affecting social communication, interaction, and behavioral functioning. Caring for a child with ASD may create significant psychological and social challenges for parents due to the child's developmental and behavioral needs, continuous caregiving responsibilities, and uncertainty regarding the future. This review aims to examine the risk and protective factors associated with parental burnout among parents of children with ASD based on current literature and to evaluate relevant intervention approaches. The literature indicates that children's behavioral difficulties and intensive support needs, high parenting stress, caregiving burden, symptoms of anxiety and depression, financial difficulties, insufficient social support, family problems,

social isolation, and stigma are important risk factors associated with parental burnout. In contrast, adaptive coping strategies, perceived social support, psychological resilience, psychological flexibility, and family solidarity emerge as protective factors. Psychoeducation, cognitive behavioral approaches, acceptance and commitment therapy, mindfulness-based practices, and structured parent support programs may contribute to parents' psychological adjustment. In conclusion, preventing parental burnout requires comprehensive interventions addressing individual, familial, and social factors together. Strengthening access to professional support services and enhancing parents' psychological and social resources are important for promoting parental well-being and maintaining family quality of life.

Keywords: Autism Spectrum Disorder, parental burnout, psychological resilience, social support, coping strategies.

1.GİRİŞ

Erken çocukluk döneminde ortaya çıkan ve yaşam boyu süren Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB), bireyin sosyal iletişim ve etkileşim becerilerini etkileyen bir gelişim bozukluğudur (American Psychiatric Association, 2013). OSB; tekrarlayıcı davranışlar, kısıtlı ilgi alanları, sosyal etkileşimde kalıcı yetersizlikler ve iletişimde çeşitli sınırlılıklarla karakterize edilen nörogelişimsel bir bozukluktur. Diğer bir ifadeyle otizm spektrum bozukluğu olan bireylerde sosyal iletişim ve etkileşim alanındaki güçlükler; karşılıklı sosyal etkileşimi başlatma ve sürdürmede zorlanma, göz temasının sınırlı ya da atipik olması, ortak dikkat becerilerinde sınırlılıklar ve sözel ya da sözel olmayan iletişim becerilerindeki güçlükler şeklinde görülebilmektedir (Kring ve Johnson, 2015). ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi bünyesindeki Otizm ve Gelişimsel Yetersizlikleri İzleme (ADDM) Ağı'nın en güncel verilerine göre, otizm spektrum bozukluğunun görülme sıklığı ortalama 31 çocukta bir olarak bildirilmektedir; bu oran 2020 verilerine dayanan 36'da 1'lik önceki tahminden de yüksektir (Shaw ve ark., 2025).

OSB'de belirtilerin türü, şiddeti ve bireyin günlük yaşamındaki etkileri kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir. Bu heterojen yapı, çocukların gelişimsel özellikleri ve destek gereksinimlerinin yanı sıra ebeveynlerin bakım sürecinde karşılaştıkları güçlüklerin de farklılaşmasına neden olabilmektedir (Arslan ve Tuncay, 2023; Barklı ve Doğan, 2025). Çocuğun OSB tanısı alması, ebeveynler açısından önemli bir uyum sürecini beraberinde getirebilmektedir. Tanı öncesinde çocuğun gelişimsel özelliklerine ilişkin yaşanan belirsizlikler, tanının ardından yerini çocuğun gelişimi, gelecekteki bağımsızlığı, eğitim süreci ve bakım gereksinimlerine ilişkin kaygılara bırakabilmektedir. Ebeveynler aynı zamanda çocuklarına ve aile yaşamına ilişkin önceki beklentilerini yeniden değerlendirmek ve günlük yaşamlarını çocuğun gereksinimleri doğrultusunda yeniden düzenlemek durumunda kalabilmektedir. Bu süreçte şok, inkâr, kaygı ve üzüntü gibi çeşitli duygusal tepkilerin yaşanabildiği ve değişen beklentilere uyum sağlamanın ebeveynler açısından psikolojik olarak zorlayıcı olabildiği belirtilmektedir (Arslan ve Tuncay, 2023; Ulu ve Karacasu, 2022). OSB tanısının ardından yaşanan psikolojik zorlanmada geleceğe ilişkin belirsizliklerin önemli bir yeri bulunmaktadır. Ebeveynler, çocuklarının ilerleyen dönemlerde ne ölçüde bağımsız olabileceği, eğitim ve sosyal yaşama katılımı ve gelecekte bakım sorumluluğunun nasıl sürdürüleceği gibi konularda kaygı yaşayabilmektedir. Nitekim OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde kaygı ve depresif belirtilerin görülebildiği ve bu psikolojik belirtilerin ebeveynlerin yaşam kalitesiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Güller ve Yaylacı, 2022). Benzer şekilde ebeveynlerin yaşadıkları kaygı ve kullandıkları başa çıkma tutumlarının

tükenmişlik açısından da önem taşıdığı görülmektedir (Ulu ve Karacasu, 2022). Ebeveynlerin yaşadığı güçlükler yalnızca tanıya verilen duygusal tepkilerle sınırlı değildir. OSB tanılı bir çocuğun günlük yaşam, eğitim, sağlık ve sosyal uyum alanlarındaki gereksinimlerinin karşılanması, ebeveynler açısından süreklilik gösteren bir bakım sorumluluğu oluşturabilmektedir. Çocuğun destek gereksiniminin yoğunluğu, bakım için ayrılan zaman ve ebeveynlerin aynı anda aile, iş ve sosyal yaşamla ilişkili diğer sorumluluklarını sürdürme çabaları bakım yükünü artırabilmektedir. Uzun süre devam eden bu sorumluluklar ebeveynlerin fiziksel ve psikolojik iyi oluşlarını etkileyerek yaşam kalitelerinin azalmasına neden olabilmektedir (Güller ve Yaylacı, 2022). Bununla birlikte ebeveynlerin bu sürece uyumunda yalnızca karşılaştıkları güçlüklerin değil, sahip oldukları bireysel ve çevresel kaynakların da dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle sosyal destek ve psikolojik sağlamlığın ebeveynlerin yaşam kalitesi açısından koruyucu bir rol üstlenebildiği bildirilmektedir (Gao ve Drani, 2025). Bakım taleplerinin süreklilik göstermesi, ebeveynlik rolüne ilişkin sorumlulukların artması ve yeterli psikososyal desteğe ulaşamaması zaman içerisinde ebeveyn tükenmişliğinin gelişmesine zemin hazırlayabilmektedir. Ebeveyn tükenmişliği, ebeveynlik rolünün gerektirdiği taleplerin bireyin sahip olduğu kaynakları uzun süre aşması sonucunda ortaya çıkabilen; yoğun fiziksel ve duygusal tükenme, ebeveynlik rolünden bıkkınlık ve çocukla ilişkide duygusal uzaklaşma gibi belirtilerle kendini gösterebilen bir durumdur. OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde gerçekleştirilen araştırmalar, ebeveyn tükenmişliğinin kaygı gibi psikolojik değişkenlerle ilişkili olduğunu ve bakım sürecinde yaşanan zorlanmaların tükenmişlik açısından önem taşıdığını göstermektedir (Ulu ve Karacasu, 2022; Akram ve ark., 2025). Bu nedenle OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde tükenmişliğin yalnızca yoğun bakım sorumluluğunun doğal bir sonucu olarak değerlendirilmemesi; çocuğa ilişkin özellikler, ebeveynin psikolojik kaynakları, kullanılan başa çıkma stratejileri ve algılanan sosyal destek gibi faktörlerle birlikte ele alınması önem taşımaktadır. Nitekim güncel çalışmalar, sosyal desteğin ve psikolojik sağlamlığın ebeveynlerin yaşam kalitesini destekleyebildiğini ve bakım sürecinde karşılaşılan psikolojik yükün yönetilmesinde koruyucu kaynaklar olarak işlev görebildiğini göstermektedir (Gao ve Drani, 2025). Bu doğrultuda OSB bağlamında ebeveyn tükenmişliğinin risk ve koruyucu faktörlerle birlikte incelenmesi, hem ebeveynlerin psikolojik iyi oluşlarının desteklenmesi hem de aile temelli müdahalelerin geliştirilmesi açısından önemlidir.

Ebeveyn tükenmişliği, çocuk yetiştirme sürecinde uzun süre devam eden strese bağlı olarak gelişen özgün bir sendrom olarak tanımlanmaktadır (Krivoshei, 2024). Ebeveyn tükenmişliği, yoğun beklentiler ile ebeveynin sahip olduğu baş etme kaynakları arasındaki dengesizliğin bir sonucu olarak günümüzde giderek daha önemli bir toplumsal sorun olarak öne çıkmaktadır (Ren ve ark., 2024). Bu durum, "ebeveynlik rolüyle ilişkili yoğun tükenme, kendi çocuklarından duygusal olarak uzaklaştırma ve ebeveyn olarak doyum sağlayamama ile karakterize bir durum" olarak tanımlanmaktadır (Akram ve ark., 2025).

Ebeveyn tükenmişliği, ebeveynlerin çocuklarıyla nitelikli zaman geçirmekten kaçınmalarına, çocuklarının davranışlarını tolere etmekte güçlük yaşamalarına ve mevcut durumu iyileştirebileceğine yönelik umudunu yitirmelerine yol açmaktadır (Şahin ve Aktu, 2025). Ebeveyn tükenmişliğinin ilk belirtileri genellikle duygusal tükenme şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte ebeveynler kendilerini yoğun biçimde yorgun hissedebilmekte, sosyal çevreleriyle olan etkileşimleri azalabilmekte ve duygusal tepkilerini düzenlemekte güçlük yaşayabilmektedir. İlerleyen süreçte duyarsızlaşma gelişebilmekte; ebeveyn ile çocuk arasındaki duygusal bağın zayıfladığı ve ebeveynlik, zamanla yalnızca çocuğun temel

gereksinimlerinin karşılandığı rutin bir bakım sürecine dönüşmektedir. Son aşamada ebeveynler, çocuğun gereksinimlerini karşılayabilme konusunda kendi yeterliliğini sorgulamakta ve ebeveynlik rolünden alınan kişisel tatmin duygusunun azaldığı bir yetersizlik duygusuna kapılmaktadır (Krivoshei, 2024).

2. EBEVEYN TÜKENMİŞLİĞİNİ TETİKLEYEN ETKENLER VE AİLE DİNAMİKLERİ

2.1. Psikolojik ve Bireysel Faktörler

Otizmli çocuklarda görülen iletişim, sosyal etkileşim ve öz bakım becerilerindeki sınırlılıklar, ebeveynler açısından bir stres kaynağı haline gelebilmektedir (Barklı ve Doğan, 2025). Bunun yanı sıra, otizmli çocukların ebeveynlerinde görülen stres düzeyi, otizmin semptom şiddetine ve çocukta gözlemlenen davranışsal problemler doğrultusunda artabilir (Kütük ve ark., 2021). Benzer şekilde, çocukta otizm semptomlarının şiddeti ile çocukta gözlemlenen davranış problemlerinin yoğunluğu ebeveynlerin yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilediği bildirilmektedir (Ünlü ve Gökler, 2021). Ayrıca araştırmalar, çocuğun otizm belirtilerinin şiddeti ile annelerde görülen anksiyete ve depresyon belirtileri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır (Tüylüoğlu ve Sezgin, 2024). Benzer şekilde, Otizm belirtilerinin şiddetinin ve çocuğun sergilediği davranışların sıklığının ebeveynlik stresiyle doğrudan ilişkili olduğu ve ebeveynlerin tükenmişlik düzeylerini artırdığı saptanmıştır (Mutlu ve Demirtaş, 2023). Bunlara ek olarak, otizm belirtilerinin gerçekte olduğundan daha şiddetli algılanması, çocukla iletişim kurarken yaşanan gerginliğin ve çocuğun davranışlarına aşırı odaklanması, ebeveyn tükenmişliğine yol açtığı saptanmıştır (Kuzmina ve ark., 2024).

Davranışsal özellikler bakımından ele alındığında, otizmli çocukların önemli bir bölümünün duygusal tepkisellik, problemli davranışlar ve içselleştirme sorunları açısından çeşitli zorluklarla karşı karşıya kaldığı bilinmektedir (Koç ve Akbulut, 2026). Özellikle otizmli çocuklarda sıklıkla karşılaşılan dil gelişimi ve iletişim kurma becerisindeki kısıtlılıklar, ebeveynlerin duygu düzenleme becerileri üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır (Shnitzer-Meirovich ve ark., 2024). Bunun yanı sıra, otizmli çocukların iletişim alanındaki yetersizlikleri nedeniyle ihtiyaçlarını ebeveynlerine etkili bir şekilde ifade edememeleri, ebeveynlerin çocuklarının ihtiyaçlarını karşılamada kendilerini yetersiz görmelerine neden olmaktadır (Barklı ve Doğan, 2025). Ayrıca otizmli çocuklarda görülen konuşma ve iletişim alanındaki sınırlılıklar, ebeveynlerin psikolojik iyi oluş düzeylerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Ji ve ark., 2025).

Bu ve benzeri durumlardan ötürü, bazı otizmli çocukların ebeveynleri çocuklarının ihtiyaçlarını karşılama konusunda özgüven kaybı yaşayabilir; kendilerini çaresiz ve yetersiz hissedebilirler. Toplumsal değerler ve aile yapısı açısından değerlendirildiğinde, geleneksel Türk kültüründe ebeveynlik anlayışı, ailenin toplumsal saygınlığının çocuklarının başarısına doğrudan bağlı olduğu düşünülür; dolayısıyla çocuğun aile beklentilerinden farklı gelişim göstermesi nedeniyle ebeveynler bu süreçte kendilerini suçlayabilmektedir (Kara ve ark., 2024). Öte yandan, bakım verme sürecinde ortaya çıkan sorumlulukların yerine getirilmesi ya da dış destek arayışına girilmesi sırasında sıklıkla gözlenen suçluluk duygusu, gerek etkili bakım sunmayı gerekse öz bakım becerilerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Rizzo ve ark., 2024).

Bireysel kişilik özellikleri açısından değerlendirildiğinde, ebeveynlerin benimsedikleri mükemmeliyetçi tutumların, ebeveynlerde tükenmişlik hissinin ortaya çıkmasında önemli bir etken olduğu ifade edilmektedir (Karataş ve Burak, 2025). Bireysel faktörler temelinde değerlendirildiğinde, tükenmişlik riski yüksek annelerin; yüksek kaygı, depresif eğilimler sergiledikleri, kendilerine yönelik eleştirel bir tutum benimseme ve duygusal uyaranlara aşırı

tepki verme eğiliminde oldukları bildirilmektedir (Krivoshei, 2024). Bu bağlamda, annelerde gözlenen olumsuz mükemmeliyetçi ve tükenmişlik annelerin psikolojik dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyerek, bu ebeveynlerin stresle başa çıkma kapasitelerini belirgin şekilde zayıflatmaktadır (Karataş ve Burak, 2025). OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde tükenmişlik, yalnızca bakım sorumluluklarının yoğunluğuyla değil; ebeveynlerin yaşadığı fiziksel ve psikolojik zorlanmalar, yetersiz ailevi, sosyal ve ekonomik destek ile toplumsal ayrımcılık gibi çeşitli faktörlerle ilişkili olabilmektedir (Ren ve ark., 2024).

Ebeveynlik rolleri ve cinsiyet açısından değerlendirildiğinde, OSB tanılı çocukların annelerinin babalara kıyasla daha fazla psikolojik zorlanma yaşayabildiği; özellikle stres, anksiyete ve depresyon belirtilerinin annelerde daha yüksek düzeylerde görülebildiği bildirilmektedir (Alicka ve ark., 2025). Bununla birlikte, OSB tanılı bir çocuğun bakımını üstlenmenin ebeveynlerin psikososyal uyumunu ve aile yaşamını etkileyebildiği; bu süreçte yaşam doyumu ve aile yılmazlığının ebeveynlerin uyumunda önemli değişkenler olduğu belirtilmektedir (Yavuz ve Gümüşkaya, 2021).

Çocuğun bilişsel işlevleri açısından değerlendirildiğinde, otizmlili çocukların bilişsel işlevlerindeki gerilemeyle birlikte, annelerde depresyon ve anksiyete görülme sıklığının yükseldiği bildirilmektedir (Ulu ve Karacasu, 2022). Psikolojik açıdan değerlendirildiğinde, ebeveynlerin umutsuzluk düzeylerinin yükselmesinin, tükenmişlik duygusunu doğrudan tetiklediği, bu durumun aile içindeki kaynak ve risk dengesini olumsuz etkilediği belirtilmektedir (Usta ve ark., 2026). Bu doğrultuda, ebeveynlerde stres belirtileri daha sık görülmekte; stresin etkili biçimde yönetilememesi, bakım verenlerin ruh sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir (Koçak ve ark., 2023).

Genel bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, ebeveynlik stresi, ebeveyn tükenmişliğinin gelişiminde en önemli unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir (Zhang ve ark., 2025). Söz konusu olumsuzlukların uzun süre yaşanması, bireyin yaşam kalitesini, bireyin yaşamdan aldığı doyumu ve öznel iyi oluşunu olumsuz etkiler ve depresif belirtilerin ortaya çıkma riskini artırabilmektedir (Ren ve ark., 2024). Tüm bunlara ek olarak, ebeveynlik sürecinde karşılaşılan güçlükler ile tanıyla birlikte ortaya çıkan davranış düzenleme sorunları, ebeveynlerin daha fazla stres yaşamalarına ve kendilerini yetersiz algılamalarına yol açabilmekte; bu durum, depresif belirtilerin ortaya çıkmasına ve nevrotik ile somatik sorunların gelişmesine sebep olabilmektedir (Kuzmina ve ark., 2024).

2.2. Aile İçi ve Sosyo-Ekonomik Zorluklar

Otizm tanısı, yalnızca tanı alan bireyi değil, tüm aile üyelerini dolaylı bir şekilde etkilemektedir (Liu ve ark., 2025). Bir çocuğun aileye dahil olması, doğal olarak aile düzeninde ve ebeveynlik rollerinde değişimlere yol açabilmektedir. Gelişimsel bir bozukluk olan otizmin eşlik ettiği durumlarda, aile yaşamında psikolojik, sosyal ve duygusal yönden çok boyutlu değişimlerin yaşandığı bir süreç ortaya çıkabilmektedir (Ünlü ve Gökler, 2021).

Otizmlili bir çocuğun aile yaşamına dahil olmasıyla ortaya çıkan yeni rol ve sorumlulukların büyük ölçüde annelerin üzerinde yoğunlaşması, annelerin tükenmişlik yaşama olasılığını artırarak evlilik ilişkisinde sorunlara neden olabilmektedir (Ünlü ve Gökler, 2021). Bu bağlamda, OSB tanısı olan bir çocuğun yetiştirilmesi, ebeveynlerin yaşam kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesiyle birlikte, eşler arası ilişkilerde ve kardeş ilişkilerinde olumsuz yönde etkilenmesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Barklı ve Doğan, 2025). Otizm tanısının aile yaşamına yansımaları sonucunda, aile işleyişi, beklenmedik biçimde değişerek çoğunlukla olumsuz etkilenmektedir (Gao ve Drani, 2025).

Aile ilişkileri ve etkileşimleri ele alındığında; bazı ailelerde aile üyeleri arasındaki iletişim sıklığında azalma görülmesi, eşler arasındaki çatışmalar, ebeveyn-çocuk ilişkisinde ortaya çıkan güçlüklerin aile içi uyumu olumsuz etkilemesi, geniş aile bağlarının zayıflaması ile maddi sorunların bir araya gelmesi, aile içindeki ilişkileri olumsuz etkileyebilmektedir (Gao ve Drani, 2025). Literatürdeki bulgular, ebeveynlik tükenmişliğinin ve psikolojik çöküntü belirtileri ile evlilik çatışması arasında anlamlı bir bağlantı olduğunu ortaya koymaktadır (Zhang ve ark., 2025).

Çocuğa ilişkin gelişimsel özellikler ele alındığında; iletişim alanındaki yetersizlikler ve davranış düzenlemede karşılaşılan zorluklar, bu çocuklarda davranışsal güçlüklerin diğer gruplara göre daha sık ortaya çıkmasına ve sosyal ilişkilerde yaşanan sınırlılıkların ebeveyn-çocuk etkileşimini olumsuz etkileyebilmesine neden olmakta, bunun sonucunda aile içi etkileşimlerde çeşitli sorunlar görülebilmektedir (Tüylüoğlu ve Sezgin, 2024). Diğer yandan, ebeveynlerin otizm tanısı olan çocuklarıyla kurdukları ilişkiler, tipik gelişim gösteren çocuklarıyla olan ilişkilerinden farklılaşabilmektedir (Barklı ve Doğan, 2025). Ebeveyn rollerinin yeniden şekillenmesi bağlamında, güncel araştırmalar babaların da özellikle OSB ile ilişkili davranışsal güçlükler ve iletişim sorunları nedeniyle yüksek düzeyde stres deneyimlediklerini ve bu durumun, babaların geleneksel bakım sorumluluklarını sürdürmelerini güçleştirebildiğini ortaya koymaktadır (Rizzo ve ark., 2024). Anne rolü açısından değerlendirildiğinde, annelerin kendilerine ayırabilecekleri bireysel zamanın sınırlı olması, ebeveynlerde duygusal tükenmişlik yaşantısının oluşmasına zemin hazırlayan temel unsurlardan biridir (Krivoshei, 2024). Bununla birlikte, yeterli sosyal destek kaynaklarının bulunmaması durumunda aile bütünlüğü, evlilik doyumunun ve aile içi uyumun sürdürülmesinde çeşitli sorunlarla karşılaşabilir; bu süreç, ebeveynlerin sorunlarla baş etmede kaçınılmaz stratejilere başvurmalarına neden olabilmektedir (Rizzo ve ark., 2024).

Fiziksel yaşam koşulları ve çevresel etkenler değerlendirildiğinde, ebeveyn tükenmişliğinin bireysel ve ekonomik değişkenlerin ötesinde daha geniş etkenlerden etkilendiğini, aynı zamanda ailenin sahip olduğu fiziksel yaşam koşullarının da ebeveyn tükenmişliği üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır (Usta ve ark., 2026). Nitekim özel gereksinimli çocukların ebeveynlerinde, ev içi fiziksel koşulların yetersizliği, ev içindeki fiziksel kısıtlılıklar ve mahremiyet alanının yetersizliği gibi unsurlar, mekânsal stres oluşturarak ebeveynlerde duygusal tükenmişlik sürecini hızlandırmakta ve çocuklarıyla kurdukları etkileşimlerde sabır ve tolerans düzeylerinin azalmasına yol açabilmektedir (Usta ve ark., 2026).

Ekonomik ve yapısal koşullar açısından değerlendirildiğinde, sürekli bakım verme sürecinin oluşturduğu yorgunluk, aile içindeki rollerin ve günlük yaşam düzeninin yeniden şekillenmesi, eğitim ve rehabilitasyon hizmetlerine yönelik gereksinimlerin aileler üzerinde oluşturduğu maddi yük ve sosyal yaşama katılım sürecinde karşılaşılan güçlükler, OSB'li çocukların ebeveynlerinde tükenmişlik düzeyinin artmasına neden olabilmektedir (Gülbetekin ve ark., 2024). Özel eğitim hizmetlerine ulaşmadaki güçlükler, bazı ailelerin çocuklarının ihtiyaç duyduğu desteklerden yararlanabilmek için yaşadıkları yeri değiştirmelerini gerektirebilmektedir (Gao ve Drani, 2025).

Türkiye bağlamında yapılan güncel araştırmalar, ekonomik güçlükler ile bakım hizmetlerine erişimde karşılaşılan engellerin, ebeveynlerin sahip oldukları kaynaklar ile karşı karşıya kaldıkları talepler arasındaki dengeyi olumsuz etkileyerek tükenmişlik düzeyini artırabildiği ve bunun ebeveynlik niteliğini doğrudan olumsuz yönde etkileyebildiği bildirilmektedir (Koçak ve ark., 2023). Bölgesel koşullar bakımından ele alındığında, kırsal bölgelerde ikamet eden

ebeveynlerin, sağlık ve bakım hizmetlerine ulaşma bakımından kentsel bölgelerde yaşayan ebeveynlere göre daha dezavantajlı oldukları belirtilmektedir (Karra ve ark., 2023).

2.3. Toplumsal Çevre ve Damgalanma

OSB tanılı çocukların ebeveynleri, bakım sürecinin beraberinde getirdiği güçlüklerin yanı sıra toplumsal damgalanma ve sosyal yargılanmayla da karşı karşıya kalabilmektedir. Damgalanma; ebeveynlerin çevrelerinden algıladıkları olumsuz tutumları, doğrudan maruz kaldıkları ayrımcı davranışları ve bu olumsuz değerlendirmeleri içselleştirmelerini kapsayan çok boyutlu bir deneyim olarak ortaya çıkabilmektedir. Nitekim OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde algılanan, içselleştirilmiş ve maruz kalınan damgalanmanın çeşitli ebeveyn ve çocuk özellikleriyle ilişkili olduğu; özellikle bakım yükü, sosyal destek ve çocuğun zorlayıcı davranışlarının damgalanma deneyimi açısından önemli değişkenler olduğu bildirilmektedir (Khanh ve ark., 2025). Damgalanma ve sosyal yargılanmanın etkileri ebeveynlerin günlük sosyal yaşamlarında da görülebilmektedir. Özellikle anneler, çocuklarının davranışlarının çevre tarafından yanlış anlaşılması nedeniyle eleştirel veya yargılayıcı tepkilerle karşılaşabilmekte ve çocuklarının durumunu başkalarına açıklama gereksinimi hissedebilmektedir. Bu deneyimlerin tekrarlanması, annelerin sosyal ortamlardan uzaklaşmalarına ve zamanla sosyal izolasyon yaşamalarına zemin hazırlayabilmektedir (Shamsi ve Bagheri, 2026). Türkiye'de gerçekleştirilen nitel bir araştırmada da OSB tanılı çocukların annelerinin çocuklarının durumundan duygusal, fiziksel ve sosyal açıdan etkilendikleri ve bakım sürecinde önemli güçlüklerle karşılaştıkları ortaya konmuştur. Aynı çalışmada sosyal destek algısının annelerin deneyimlerinin önemli bir boyutunu oluşturduğu belirlenmiştir (Aktaş ve ark., 2024). OSB tanılı bireylerin ve ailelerinin karşılaştıkları bu güçlükler sosyal yaşama katılımlarını da sınırlandırabilmektedir (Susuz ve Doğan, 2020). Çocuğun davranışlarının toplum tarafından olumsuz değerlendirileceği veya yanlış anlaşılacağı düşüncesi, ebeveynlerin bazı sosyal ortamlardan kaçınmalarına ve sosyal ilişkilerini sınırlandırmalarına neden olabilmektedir. Sosyal etkileşimin azalması ise ebeveynlerin yararlanabilecekleri destek kaynaklarının sınırlanması açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda sosyal desteğin yalnızca ebeveynlerin sosyal uyumu açısından değil, psikolojik iyi oluşları ve tükenmişlikleri açısından da koruyucu bir kaynak olabileceği düşünülmektedir. Nitekim OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde algılanan sosyal desteğin ebeveyn tükenmişliğiyle negatif yönde ilişkili olduğu ve aleksitimi ile ebeveyn tükenmişliği arasındaki ilişkide kısmi aracı rol üstlendiği gösterilmiştir (Lin ve ark., 2023). Lin ve arkadaşlarının çalışmasında ayrıca cinsiyetin bu ilişkiler üzerinde düzenleyici bir rol oynayabildiği ve özellikle aleksitimi düzeyi yüksek annelerin düşük sosyal destek ve ebeveyn tükenmişliği açısından daha fazla risk taşıyabileceği bildirilmiştir. Bu bulgular, OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde tükenmişliğin değerlendirilmesinde bireysel psikolojik özelliklerin yanı sıra sosyal destek kaynaklarının da dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir (Lin ve ark., 2023). OSB tanılı çocukların ebeveynlerinin yaşadıkları güçlükler, sosyal yaşamlarını ve günlük rutinlerini de önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Ebeveynlerin destek kaynaklarına erişimde yaşadıkları güçlükler ve bakım sorumluluklarının yoğunluğu sosyal izolasyona zemin hazırlayabilmekte; günlük yaşam düzenindeki değişimler, kaygı ve duygusal zorlanmalarla birlikte ebeveyn tükenmişliği sürecine katkıda bulunabilmektedir (Koçak ve ark., 2023).

3. BAŞA ÇIKMA STRATEJİLERİ VE MÜDAHALE YAKLAŞIMLARI

3.1. Bireysel Başa Çıkma ve Koruyucu Faktörler

Baş çıkma stratejileri, bireylerin stres yaratan veya zorlayıcı yaşam olaylarının oluşturduğu talepleri yönetmek amacıyla kullandıkları bilişsel ve davranışsal çabaları ifade etmektedir. OSB

tanılı bir çocuğun bakımını üstlenen ebeveynler açısından işlevsel başa çıkma stratejilerinin kullanılması, bakım sürecinin beraberinde getirdiği psikolojik yükün yönetilmesinde ve ebeveynlerin uyumunun desteklenmesinde önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir (Arslan ve Tuncay, 2023). OSB tanılı çocukların ebeveynleriyle gerçekleştirilen araştırmalar da başa çıkma biçiminin ebeveynlerin psikolojik iyi oluşuyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle problem çözme ve aktif başa çıkma gibi uyum sağlayıcı stratejilerin daha olumlu psikolojik sonuçlarla ilişkili olabildiği; kaçınma gibi işlevsel olmayan stratejilerin ise psikolojik zorlanmayı artırabildiği bildirilmektedir (ALBusaidi ve ark., 2022; Al Eid ve ark., 2024).

Ebeveynlerin kullandıkları başa çıkma stratejileri, tükenmişlik düzeyleri açısından da önem taşımaktadır. Stres karşısında kendine güvenli ve iyimser yaklaşımların benimsenmesinin daha düşük tükenmişlik düzeyleriyle, çaresiz yaklaşımın ise daha yüksek tükenmişlikle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Yıldız ve ark., 2022). Bununla birlikte başa çıkma stratejilerini yalnızca problem odaklı ve duygu odaklı biçiminde sınıflandırarak bir grubu bütünüyle işlevsel, diğerini işlevsiz kabul etmek uygun değildir. Örneğin sosyal destek arama ve olumlu yeniden değerlendirme gibi stratejiler ebeveynlerin psikolojik uyumuna katkıda bulunabilirken, kaçınma ve inkâr gibi stratejilerin uzun vadede daha olumsuz psikolojik sonuçlarla ilişkili olabileceği görülmektedir. Bu nedenle başa çıkma stratejilerinin niteliğinin ve kullanıldıkları bağlamın birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır (ALBusaidi ve ark., 2022; Al Eid ve ark., 2024).

Ebeveynlerin başa çıkma biçimleri cinsiyete göre de farklılaşabilmektedir. Babaların planlama ve kendine güvenli yaklaşım gibi stratejilere daha sık başvurabildiği; annelerin ise duygusal ve sosyal destek arama, dini başa çıkma ve duyguları ifade etme gibi stratejileri daha fazla kullanabildiği belirtilmektedir (Arslan ve Tuncay, 2023). Bununla birlikte bu farklılıkların kültürel yapı, bakım sorumluluklarının dağılımı ve erişilebilir sosyal destek kaynakları gibi bağlamsal faktörlerden bağımsız değerlendirilmemesi gerekmektedir.

Başa çıkma sürecinde **sosyal destek**, ebeveynlerin psikolojik kaynaklarını koruyabilmeleri açısından öne çıkan koruyucu faktörlerden biridir. Aile üyeleri, arkadaşlar, diğer ebeveynler ve profesyonellerden sağlanan destek, ebeveynlerin bakım sorumluluklarını paylaşmalarına, duygusal yüklerini azaltmalarına ve karşılaştıkları güçlükleri daha yönetilebilir olarak değerlendirmelerine katkı sağlayabilmektedir. OSB tanılı çocukların ebeveynleri üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada, algılanan sosyal desteğin ebeveyn tükenmişliğini negatif yönde yordadığı ve aleksitimi ile ebeveyn tükenmişliği arasındaki ilişkide kısmi aracı rol üstlendiği belirlenmiştir (Lin ve ark., 2023). Bu sonuç, sosyal desteğin yalnızca genel psikolojik iyi oluş açısından değil, doğrudan ebeveyn tükenmişliği açısından da dikkate alınması gereken bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Sosyal desteğin önemi farklı çalışmalar tarafından da desteklenmektedir. OSB tanılı çocukların ebeveynlerinin yaşam kalitesi ve başa çıkma stratejilerini inceleyen ALBusaidi ve ark. (2022), sosyal destek aramanın ebeveynlerin sıklıkla başvurdukları başa çıkma biçimlerinden biri olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde psikolojik iyi oluşu inceleyen güncel çalışmalar, sosyal kaynakların ve uyum sağlayıcı başa çıkma biçimlerinin ebeveynlerin bakım sürecindeki psikolojik uyumunun anlaşılmasında önemli olduğunu göstermektedir (Al Eid ve ark., 2024). Dolayısıyla ebeveyn tükenmişliğini önlemeye yönelik müdahalelerin yalnızca bireyin stres yönetimi becerilerine odaklanması yerine, ebeveynlerin ulaşabilecekleri sosyal ve profesyonel destek kaynaklarını da güçlendirmesi önem taşımaktadır.

Ebeveynlerin uzun süreli bakım taleplerine uyum sağlamasında öne çıkan bir diğer koruyucu süreç **psikolojik sağlamlıktır**. Psikolojik sağlamlık, bireyin önemli güçlükler karşısında psikolojik işlevselliğini koruyabilmesini veya zorlayıcı bir deneyimin ardından yeniden uyum sağlayabilmesini içeren dinamik bir süreç olarak değerlendirilmektedir. OSB tanılı çocukların ebeveynleri açısından psikolojik sağlamlık; ebeveynlerin karşılaştıkları bakım talepleri, belirsizlikler ve psikososyal stres kaynakları karşısında uyumlarını sürdürebilmelerinde önemli bir psikolojik kaynak olarak görülmektedir. Güncel sistematik derleme bulguları da ebeveynlerin psikolojik sağlamlığının yalnızca bireysel özelliklerle açıklanamayacağını; sosyal destek, başa çıkma kaynakları ve aileyle ilişkili faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Md Salim ve ark., 2026).

Psikolojik sağlamlıkla yakından ilişkili bir diğer kavram olan **psikolojik esneklik**, bireyin zorlayıcı düşünce ve duygularını ortadan kaldırmaya çalışmak yerine bunların varlığında işlevsel davranışlarını sürdürebilmesi ve değişen koşullara uyum sağlayabilmesiyle ilişkilidir. OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde gerçekleştirilen güncel bir araştırmada, psikolojik esneklik ile ebeveyn tükenmişliği arasındaki ilişkide duygusal tepkiselliğin önemli bir mekanizma olduğu gösterilmiştir (Koç ve Akbulut, 2026). Bu bulgu, ebeveynlerin yaşadıkları zorlayıcı duyguları nasıl deneyimledikleri ve düzenlediklerinin tükenmişlik açısından önemli olabileceğine işaret etmektedir. Psikolojik esnekliğin değiştirilebilir bir özellik olması, ebeveynlere yönelik psikolojik müdahaleler açısından da önem taşımaktadır. Özellikle Kabul ve Kararlılık Terapisi [Acceptance and Commitment Therapy (ACT)] temelli müdahaleler, zorlayıcı düşünce ve duygular karşısında deneyimsel kaçınmanın azaltılması ve psikolojik esnekliğin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Aile bakım verenleri üzerinde gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizler ACT temelli müdahalelerin psikolojik esnekliğin geliştirilmesi ve psikolojik zorlanmanın azaltılması açısından yararlı olabileceğine işaret etmektedir (Han ve ark., 2021). OSB'li bireylerin ebeveynleriyle gerçekleştirilen çalışmalar da psikolojik esnekliği hedefleyen müdahalelerin ebeveynlerin psikolojik iyi oluşlarının desteklenmesi açısından umut verici olduğunu göstermektedir (Marino ve ark., 2021).

Sonuç olarak OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde tükenmişliğe karşı koruyucu süreçlerin tek bir değişken üzerinden açıklanması mümkün görünmemektedir. **İşlevsel başa çıkma stratejileri, algılanan sosyal destek, psikolojik sağlamlık ve psikolojik esneklik**, uzun süreli bakım talepleri karşısında ebeveynlerin psikolojik kaynaklarını korumalarına katkıda bulunabilecek birbiriyle ilişkili faktörler olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle ebeveynlere yönelik müdahalelerde yalnızca stresin azaltılmasına değil; problem çözme ve işlevsel başa çıkma becerilerinin geliştirilmesine, sosyal ve profesyonel destek ağlarının güçlendirilmesine, psikolojik sağlamlığın desteklenmesine ve ebeveynlerin zorlayıcı düşünce ve duygular karşısındaki psikolojik esnekliklerinin artırılmasına odaklanılması önem taşımaktadır (Koç ve Akbulut, 2026; Lin ve ark., 2023; Marino ve ark., 2021; Md Salim ve ark., 2026).

3.2. Destek Sistemleri ve Psikolojik Terapi Yaklaşımları

Ebeveynlerin çocuğun bakım sorumluluğunu paylaşmaları, karşılıklı destek sağlamaları ve dayanışma içinde olmaları, ebeveynlik öz yeterliğinin gelişimini destekleyen koruyucu bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Barklı ve Doğan, 2025). Bu süreçte eşlerin karşılıklı duygusal destek sağlamaları; evlilik uyumu, ilişki doyumu, olumsuzlukların yönetimi ve stresli yaşam olaylarıyla başa çıkma kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Romney ve ark., 2025). Bakım görevlerinin aile üyeleri arasında paylaşılması ise ebeveyn yükünün azalmasına katkı sağlayan önemli koruyucu faktörlerden biri olarak görülmektedir (Gao ve Drani, 2025).

Aile içi ve toplumsal destek mekanizmalarının niteliği, kültürel özelliklere göre değişiklik gösterebilmektedir. Doğu toplumlarındaki kolektivist aile yapısı, büyükanne, büyükbaba ve yakın akrabaların desteği sayesinde ebeveyn sorumluluklarının paylaşılmasına katkı sağlamakta ve yorgunluk ve tükenmişlik belirtilerinin hafifletilmesinde olumlu bir rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2025). Geniş aile desteği her ne kadar ebeveyn yükünü hafifleten bir kaynak olsa da kültürel beklentiler ve aile içi ilişkiler bağlamında bazı güçlükler ortaya çıkarabilmektedir (Bagale ve ark., 2025). Partner desteğinin tükenmişliği azaltıcı etkisi, cinsiyet ve tükenmişlik düzeyine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir; partner desteğinin, annelerin tükenmişlik düzeylerinin düşük olduğu durumlarda daha güçlü bir koruyucu etki sağladığı, ancak yoğun tükenmişlik yaşayan ebeveynlerde partner desteğinin koruyucu etkisinin sınırlı kaldığı görülmektedir (Çakmak ve Arıkan, 2024).

Ebeveynlerin algıladıkları sosyal desteğin niteliği, stresle etkili biçimde başa çıkabilme kapasiteleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Sosyal ve duygusal destek algısı yüksek olan ebeveynlerin stres, kaygı düzeyleri ile somatik belirtilerinin daha düşük olduğu; ebeveynlik tükenmişliği ile sosyal izolasyon deneyimlerinin daha az görüldüğü saptanmıştır (Koçak ve ark., 2023). İyimserlik ve etkili başa çıkma yaklaşımlarıyla birlikte değerlendirilen sosyal destek algısı, ebeveynlerin psikolojik sağlamlıklarını korumalarında önemli bir rol oynamaktadır (Arslan ve Tuncay, 2023). Buna karşın, yetersiz sosyal ve duygusal destek, ailelerin bakım yükünü artırarak çeşitli psikolojik ve sosyal güçlükler yaşamalarına neden olabilmektedir (Gao ve Drani, 2025). Nitekim sosyal destek hizmetlerinden etkin biçimde faydalanan ailelerin yılmazlık düzeylerinin arttığı ve bu sayede bakım yükünün getirdiği güçlüklerle daha etkili başa çıkabildikleri ve tükenmişlik risklerinin azaldığı görülmektedir (Rizzo ve ark., 2024).

Yüksek düzeyde stres ve tükenmişlik yaşayan ebeveynler, psikolojik iyi oluşlarını koruyabilmek için profesyonel destekten yararlanmaları önem taşımaktadır. Aileler, aldıkları profesyonel destek ve katıldıkları destek grupları aracılığıyla yalnızlık duygusunun üstesinden gelerek benzer deneyimlere sahip ailelerle bilgi ve deneyim alışverişinde bulunabilmektedirler (Koçak ve ark., 2023). Bu kapsamda, Bilişsel Davranışçı Terapi, Kabul ve Kararlılık Terapisi ve psikoeğitim uygulamalarının ebeveynlerdeki stres, anksiyete ve depresyon üzerinde azaltıcı bir etki gösterdiği belirlenmiştir (Bagale ve ark., 2025). Farkındalık temelli müdahaleler, derin nefes alma, meditasyon ve yargılayıcı olmayan öz gözlem uygulamaları yoluyla stres düzeylerinin azaltılmasında etkili sonuçlar sağlamaktadır (Mo ve ark., 2024). Psikolojik esneklik ve duygu düzenleme odaklı psikoeğitim müdahaleleri de tükenmişliğe karşı koruyucu bir rol üstlenmektedir (Koç ve Akbulut, 2026). Duygu düzenleme becerilerinin geliştirilebilir bir özellik taşıması, tükenmişliğin önlenmesine yönelik koruyucu müdahale programlarının geliştirilmesini desteklemektedir (Shnitzer-Meirovich ve ark., 2024).

Ebeveynlere yönelik yapılandırılmış eğitim müdahaleleri; bakım yükü ve stres düzeylerini azaltırken, öz yeterlik ve aile işlevselliğini artırmaktadır (Şahin Büyük ve Özmen, 2025). Oyun, iletişim, beslenme, güvenlik ve öz bakım becerilerine odaklanan güçlendirme eğitimleri, ailelerin bakım sürecine ilişkin öz güvenlerini artırarak çaresizlik duygularının azalmasına katkıda bulunmaktadır (Gao ve Drani, 2025). Ebeveyn eğitiminin ardından annelerin olumlu yeniden değerlendirme puanlarında anlamlı bir artış olduğu; kaçma/kaçınma, depresyon ve anksiyete belirtilerinde azalma olduğu saptanmıştır (Alicka ve ark., 2025). Bakıcılar ve uzmanlar, iletişim becerilerinin geliştirilmesi ile zorlayıcı davranışlarla başa çıkma stratejilerinin kazandırılmasının önemini vurgulamaktadır. Motivasyonel görüşmeler,

ebeveynlerin değişime yönelik motivasyonlarını güçlendirmenin yanı sıra müdahale sürecine etkin katılımlarını da desteklemektedir (Şahin Büyük ve Özmen, 2025).

4.SONUÇ

OSB tanılı bir çocuğun bakımını üstlenmek, ebeveynleri uzun süreli ve çok boyutlu sorumluluklarla karşı karşıya bırakabilmektedir. Çocuğun gelişimsel ve davranışsal gereksinimleri, bakım yükü, günlük yaşam düzenindeki değişiklikler ve geleceğe ilişkin belirsizlikler ebeveynlerin psikolojik zorlanmalarını artırabilmektedir (Aktaş ve ark., 2024; Ren ve ark., 2024). Nitekim OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde stres, anksiyete ve depresyon belirtilerinin yaygın olduğu ve uzun süreli psikolojik zorlanmanın ebeveyn tükenmişliği açısından önemli bir risk oluşturduğu bildirilmektedir (Alicka ve ark., 2025; Akram ve ark., 2025). Ebeveyn tükenmişliği tek bir etkene bağlı olmayıp çocuğa, ebeveyne, aileye ve sosyal çevreye ilişkin faktörlerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Çocuğun davranışsal güçlükleri ve yoğun destek gereksiniminin yanı sıra ebeveynlik stresi, bakım yükü, ekonomik güçlükler, sosyal destek yetersizliği ve toplumsal damgalanma tükenmişlik riskini artırabilmektedir (Gülbetekin ve ark., 2024; Ren ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2025). OSB tanılı çocukların ebeveynlerinin tükenmişlik deneyimlerini inceleyen çalışmalar da sosyal izolasyon, günlük rutinin bozulması, destek gereksinimi, kaygı ve duygusal zorlanmaların öne çıktığını göstermektedir (Koçak ve ark., 2023). Buna karşılık **sosyal destek, işlevsel başa çıkma stratejileri, psikolojik sağlamlık ve psikolojik esneklik** ebeveyn tükenmişliğine karşı koruyucu kaynaklar olarak değerlendirilmektedir. Özellikle algılanan sosyal desteğin daha düşük ebeveyn tükenmişliğiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Lin ve ark., 2023). Benzer şekilde, işlevsel başa çıkma stratejilerinin geliştirilmesi ve ebeveynlerin psikolojik kaynaklarının güçlendirilmesi, uzun süreli bakım taleplerine uyum sağlamalarını destekleyebilir (Zhang ve ark., 2025). Bu doğrultuda OSB'ye yönelik hizmetlerin yalnızca çocuğun gelişimsel gereksinimlerine odaklanmaması, **ebeveynlerin psikolojik iyi oluşunu da doğrudan hedeflemesi** önem taşımaktadır. Güncel kanıtlar; farkındalık temelli müdahalelerin ebeveynlik stresini, bilişsel davranışçı yaklaşımların anksiyete ve depresyonu, psikoeğitimsel müdahalelerin ise stres, anksiyete ve depresif belirtileri azaltmada yararlı olabileceğini göstermektedir (Mo ve ark., 2024). Bu nedenle ebeveynlere yönelik psikoeğitim, stres yönetimi, psikolojik danışmanlık ve sosyal destek programlarının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Türkiye bağlamında ise sağlık, eğitim ve sosyal hizmetler arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi; tanı sonrasında ailelere sistematik bilgi ve rehberlik sağlanması; psikolojik destek, aile danışmanlığı ve akran destek programlarının erişilebilir hâle getirilmesi önem taşımaktadır. Bunun yanında toplumsal damgalanmayı azaltmaya yönelik farkındalık çalışmalarının artırılması ve ailelerin bakım yükünü hafifletecek sosyal hizmetlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Gülbetekin ve ark., 2024; Ren ve ark., 2024).

Sonuç olarak, OSB tanılı çocukların ebeveynlerinde tükenmişlik; bakım yükü, ebeveynlik stresi, sosyal destek, bireysel psikolojik kaynaklar ve toplumsal faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıkan çok boyutlu bir olgudur. Bu nedenle ebeveyn tükenmişliğinin önlenmesinde **işlevsel başa çıkma becerilerinin geliştirilmesi, psikolojik sağlamlığın ve sosyal desteğin güçlendirilmesi, profesyonel hizmetlere erişimin kolaylaştırılması ve bakım yükünün azaltılması** birlikte ele alınmalıdır. Çocuk ve ebeveyni aile sistemi içerisinde değerlendiren bütüncül destek modellerinin geliştirilmesi, ebeveynlerin psikolojik iyi oluşunun ve aile yaşam kalitesinin korunması açısından önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Akram, M., Naqvi, S., & Jameel, N. (2025). Relationship between children's autism spectrum disorder and parental anxiety and burnout. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 41, 366–371. <https://doi.org/10.12669/pjms.41.2.9979>
- Aktaş, E., Top, F. U., & Uzun, S. (2024). Experiences of Turkish mothers of children with autism: A phenomenological study. *Current Psychology*, 43, 29261–29274. <https://doi.org/10.1007/s12144-024-06635-9>
- ALBusaidi, A. M. S., ALMasroori, S. A. S., Awladthani, B. M. S., ALKhaldi, S. A., Al Alawi, N., & Al Salmani, A. A. (2022). Quality of life and coping strategies used by parents of children with autism spectrum disorder in Oman. *Autism & Developmental Language Impairments*, 7, 23969415221142262. <https://doi.org/10.1177/23969415221142262>
- Al Eid, N. A., Alshehri, S. M., & Arnout, B. A. (2024). The predictability of stress coping strategies and psychological capital on the psychological well-being of autistic spectrum children's mothers in the Kingdom of Saudi Arabia. *Behavioral Sciences*, 14(12), 1235. <https://doi.org/10.3390/bs14121235>
- Alicka, Y., Gjeta, A., Kotherja, O., Topi, B., Osmanaj, E., Shyti, M., Zace, E., & Agolli, D. (2025). The levels of stress, anxiety, and depression in parents of children with autism spectrum disorder: A review of literature. *Multidisciplinary Reviews*. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025350>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Arslan, K., & Tuncay, T. (2023). Examining the factors influencing the stress levels in families of children with autism. *Uluslararası İnsan Çalışmaları Dergisi*, 6(12), 229–253. <https://doi.org/10.35235/uicd.1318620>
- Bagale, A., Ojha, A. R., & Lamichhane, M. (2025). Experience and coping strategies of parents of children with autism: A qualitative study. *PLOS ONE*, 20, e0339349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0339349>
- Barklı, A., & Doğan, A. (2025). Raising a child with autism spectrum disorder: Examining parental factors. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 17(2), 197–210. <https://doi.org/10.18863/pgy.1455122>
- Çakmak, S., & Arıkan, G. (2024). Tükenmişlikten ebeveyn tükenmişliğine: Bakım vermek nasıl bir yük haline gelir? *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 16(1), 185–202. <https://doi.org/10.18863/pgy.1332822>
- Gao, X., & Drani, S. (2025). Social support experiences in parents of children with ASD: A qualitative systematic review. *SAGE Open*, 15. <https://doi.org/10.1177/21582440251336174>
- Gülbetekin, E., Kardaş Özdemir, F., & Aşut, G. (2024). The mediator role of parenting stress in the effect of stigmatization on burnout in parents of children with autism: A structural equality model. *Journal of Pediatric Nursing*, 78, e323–e329. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2024.07.021>
- Güller, B., & Yaylacı, F. (2022). Otizm spektrum bozukluğu tanılı çocukların ebeveynlerinde yaşam kalitesi, kaygı, depresyon düzeyleri ve ilişkili faktörler. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 48(2), 217–224. <https://doi.org/10.32708/uutfd.1124107>
- Han, A., Yuen, H. K., & Jenkins, J. (2021). Acceptance and commitment therapy for family caregivers: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Health Psychology*. <https://doi.org/10.1177/1359105320941217>

- Ji, B., Batubara, I. M. S., Batten, J., Peng, X., Chen, S., & Ni, Z. (2025). Digital health interventions targeting psychological health in parents of children with autism spectrum disorder: A scoping review. *BMC Psychology*, 13, 1128. <https://doi.org/10.1186/s40359-025-03219-5>
- Kara, K., Kara, O. K., Sütçü, G., & Tonak, H. A. (2024). The relationship between fatigue and quality of life in Turkish mothers of children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 55, 2696–2705. <https://doi.org/10.1007/s10803-024-06398-z>
- Karataş, E., & Burak, Y. (2025). Otizmlı çocuğa sahip annelerin psikolojik sağlamlığı ile tükenmişlik ve mükemmeliyetçiliği arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 66, 4002–4018. <https://doi.org/10.53444/deubefd.1628330>
- Karra, S. V., Krause, T., Yamal, J.-M., Ogle, N., Tanner, R., & Revere, L. (2023). Autism spectrum disorder and parental depression. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 36, 575–589. <https://doi.org/10.1007/s10882-023-09924-6>
- Khanh, T., Mai, A., Duong, T. L., & Nguyen, L. A. (2025). Factors associated with stigma among parents of children with autism spectrum disability in Vietnam. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10803-025-06942-5>
- Koç, R., & Akbulut, Ö. F. (2026). Emotional reactivity as a mediator and moderator of the relationship between psychological flexibility and parental burnout in parents of children with autism spectrum disorder (ASD). *Journal of Autism and Developmental Disorders*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10803-026-07223-5>
- Koçak, F., Çevik, Ö., & Kızılkaya, H. (2023). Views of parents with a child diagnosed with autism spectrum disorder on their burnout: A meta-synthesis study. *International Journal of Modern Education Studies*. <https://doi.org/10.51383/ijonmes.2023.335>
- Kring, A. M., & Johnson, S. L. (2015). *Anormal psikolojisi/psikopatoloji* (M. Şahin, Çev. Ed.; 12. bs.). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Krivoshei, K. O. (2024). Factors of parental burnout of mothers raising a child with autism spectrum disorders. *Психология и Психотехника*. <https://doi.org/10.7256/2454-0722.2024.3.68822>
- Kuzmina, A., Stoyanova, I., & Krivoshei, K. O. (2024). Maternal psychological resources in parenting children with autism spectrum disorders. *Autism and Developmental Disorders*, 22(4). <https://doi.org/10.17759/autdd.2024220403>
- Kütük, M., Tufan, A., Kılıçaslan, F., Güler, G., Çelik, F., Altıntaş, E., Gökçen, C., Karadağ, M., Yektaş, Ç., Mutluer, T., Kandemir, H., Büber, A., Topal, Z., Acikbas, U., Giray, A., & Kütük, Ö. (2021). High depression symptoms and burnout levels among parents of children with autism spectrum disorders: A multi-center, cross-sectional, case–control study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 51, 4086–4099. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-04874-4>
- Lin, Y.-Y., Wang, Y., Lin, C., Ni, Q., Jia, R., Chang, Y.-J., & Qi, Y. (2023). The mediating role of perceived social support: Alexithymia and parental burnout in parents of children with autism spectrum disorder. *Frontiers in Psychology*, 14, 1139618. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1139618>
- Liu, S., Wu, D., Li, J., & Yin, H. (2025). Latent profile analysis of parental burnout among parents of children with and without autism spectrum disorder. *Frontiers in Psychology*, 16, 1581321. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1581321>

- Marino, F., Failla, C., Chilà, P., Minutoli, R., Puglisi, A., Arnao, A. A., Pignolo, L., Presti, G., Pergolizzi, F., Moderato, P., Tartarisco, G., Ruta, L., Vagni, D., Cerasa, A., & Pioggia, G. (2021). The effect of acceptance and commitment therapy for improving psychological well-being in parents of individuals with autism spectrum disorders: A randomized controlled trial. *Brain Sciences*, 11(7), 880. <https://doi.org/10.3390/brainsci11070880>
- Md Salim, N. S., Idris, I. B., Nor, N. K., Roslan, S., Abdul Rashid, N., Ibrahim, R., & Abd Rahman, F. N. (2026). Factors associated with resilience among parents of children with autism spectrum disorder: A systematic review. *PLOS ONE*, 21(6), e0351969. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0351969>
- Mo, S., Bu, F., Bao, S., & Yu, Z. (2024). Comparison of effects of interventions to promote the mental health of parents of children with autism: A systematic review and network meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 114, 102508. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2024.102508>
- Mutlu, H., & Demirtaş, V. Y. (2023). Otizmli çocuğu olan ailelerin desteklenmesine yönelik yapılan bilişsel davranışçı terapi temelli çalışmaların incelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(2), 433–452. <https://doi.org/10.34056/aujef.1219861>
- Ren, X., Cai, Y., Zhang, M., Hou, Y., Wang, J., & Chen, O. (2024). What influences parental burnout in parents of children with autism spectrum disorder in China? A qualitative study. *Current Psychology*, 43(32), 26193–26204. <https://doi.org/10.1007/s12144-024-06301-0>
- Rizzo, A., Sorrenti, L., Commendatore, M., Mautone, A., Caparello, C., Maggio, M., Özasan, A., Karaman, H., Yıldırım, M., & Filippello, P. (2024). Caregivers of children with autism spectrum disorder: The role of guilt sensitivity and support. *Journal of Clinical Medicine*, 13, 4249. <https://doi.org/10.3390/jcm13144249>
- Romney, J. S., Fife, S. T., Reitz, R. S., Piland, N., Soloski, K., Montgomery, A. L., & Wagner, K. (2025). Relational patterns of support and communication in families with a child diagnosed with autism: An interpretive phenomenological study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 55(9), 3395–3409. <https://doi.org/10.1007/s10803-025-06847-3>
- Shamsi, A., & Bagheri, I. (2026). Navigating social isolation: A qualitative study of Iranian mothers of autistic children. *BMC Psychology*. <https://doi.org/10.1186/s40359-026-05016-0>
- Shaw, K. A., Williams, S., Patrick, M. E., Valencia-Prado, M., Durkin, M. S., Howerton, E. M., Ladd-Acosta, C. M., Pas, E. T., Bakian, A. V., Bartholomew, P., Nieves-Muñoz, N., Sidwell, K., Alford, A., Bilder, D. A., DiRienzo, M., Fitzgerald, R. T., Furnier, S. M., Hudson, A. E., Pokoski, O. M., ... Maenner, M. J. (2025). Prevalence and early identification of autism spectrum disorder among children aged 4 and 8 years—Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 16 sites, United States, 2022. *MMWR Surveillance Summaries*, 74(2), 1–22. <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss7402a1>
- Shnitzer-Meirovich, S., Aviad, S., Bechar-Katz, I., Araten-Bergman, T., Shenaar-Golan, V., & Gur, A. (2024). The associations between child behavioral problems, parents' emotional regulation difficulties, and parental burnout among Israeli parents of children with autism during wartime. *Frontiers in Psychology*, 15, 1439384. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1439384>
- Susuz, Ç., & Doğan, B. G. (2020). Halk sağlığı bakışıyla otizm spektrum bozukluğu / Autism spectrum disorder with public health perspective. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, 5(2), 297–310. <https://doi.org/10.35232/estudamhsd.684075>
- Şahin, Y., & Aktu, Y. (2025). Ebeveynlerin tükenmişlik deneyimleri: Parents' experiences of burnout. *Ases Ulusal Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2).

- Şahin Büyük, D., & Özmen, D. (2025). Effectiveness of a parent empowerment program for parents of children with autism: A randomized controlled trial. *Child: Care, Health and Development*, 51. <https://doi.org/10.1111/cch.70148>
- Tüylüoğlu, E. N., & Sezgin, E. (2024). Otizm spektrum bozukluğu tanılı çocuğu olan annelerin mutluluk korkusu ve aile bütünlüğü duygusu ile ebeveyn yeterlilikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 15(2), 45–62.
- Ulu, A., & Karacasu, G. (2022). Otizm spektrum bozukluğu olan çocukların ebeveynlerinde tükenmişlik, kaygı ve başa çıkma tutumları. *International Journal of Disabilities Sports and Health Sciences*. <https://doi.org/10.33438/ijdshts.1181098>
- Usta, M. B., Aker, Ş., Şenel, M. E., Macit Efe, M., Taflan, F. B., Bayrakdar, U., Gulboy, E., Kilincel, S., & Kilincel, O. (2026). Predictors of burnout in parents of children with autism: The importance of physical space. *Behavioral Sciences*, 16(6), 964. <https://doi.org/10.3390/bs16060964>
- Ünlü, İ. İ., & Gökler, R. (2021). Otizmlı çocuğa sahip ailelerde sosyal destek sisteminin önemi. *Tıbbi Sosyal Hizmet Dergisi*, (18), 194–215. <https://doi.org/10.46218/tshd.994683>
- Yavuz, M., & Gümüşkaya, Ö. (2021). Otizm spektrum bozukluğu ve zihinsel yetersizliği olan bireylerin ebeveynlerinin yaşam doyumu ve aile yılmazlık düzeylerinin incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi*, 22(4), 799–825. <https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.726030>
- Yıldız, E., Yücel, H., & Yağcı, F. (2022). Özel gereksinimli çocuğu olan ailelerin COVID-19 nedeniyle karantina sürecindeki stresle başa çıkma stratejileri ile aktivite-rol dengeleri arasındaki ilişki. *Ergoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi*, 10(2), 63–72. <https://doi.org/10.30720/ered.922953>
- Zhang, J., Wang, L., Liu, S., Yang, Y., Fan, J., & Zhang, Y. (2025). The relationship between parenting stress and parenting burnout in parents of children with autism: The chain mediating role of social support and coping strategies. *International Journal of Mental Health Promotion*. <https://doi.org/10.32604/ijmhp.2025.060064>

ERGEN DİJİTAL BAĞIMLILIĞININ ÖNLENMESİNDE DİJİTAL EBEVEYNLIK STRATEJİLERİ: GÜNCEL LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Ecenur KARA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Samsun

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2603-1723>

Dr. Öğretim Üyesi Elif ÜNAL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Psikoloji Bölümü, Samsun

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2237-4105>

Prof. Dr. Yeliz Kındap TEPE

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Psikoloji Bölümü, Samsun

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0963-810X>

ÖZET

Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı gelişmeler, çocuk ve ergenlerin teknolojiyle etkileşim süresini belirgin biçimde artırırken; kontrolsüz ve aşırı ekran kullanımı psikososyal işlevselliği olumsuz etkileyen bir dijital bağımlılık riskini beraberinde getirmektedir. Ergenlik döneminin gelişimsel özellikleri, dürtüsel yönelimleri ve akran onayına verilen önemi artırarak bireyleri problemli teknoloji kullanımı açısından hassas bir konuma getirmektedir. Bu inceleme çalışmasının amacı, ergenlerde dijital bağımlılık düzeyi ile ebeveynlik uygulamaları ve aile içi iletişim süreçleri arasındaki ilişkiyi mevcut alanyazın ve kuramsal modeller doğrultusunda bütüncül bir yaklaşımla incelemektir. İlgili alanyazın incelendiğinde; yüksek düzeyde sıcaklık ve tutarlı sınırları barındıran demokratik ebeveynlik tutumunun, ergenlerin öz düzenleme becerilerini destekleyerek bağımlılık riskine karşı en güçlü koruyucu faktör olduğu görülmektedir. Buna karşın; yüksek psikolojik kontrol içeren otoriter ebeveynlik ergenlerde dijital dünyada davranışları gizleme eğilimini artırmakta; sınır eksikliği barındıran izin verici tutumlar ile duygusal kabulden yoksun ihmalkar ebeveynlik ise ergenlerin aidiyet ihtiyaçlarını sanal ortamlarda ikame etmelerine (telafi edici internet kullanımı) zemin hazırlamaktadır. Güncel araştırmalar, ebeveynlerin kısıtlayıcı denetimlerinden ziyade, kendi kontrolsüz cihaz kullanımlarının (ebeveyn phubbingi) ve aile içi iletişimin teknolojiyle bölünmesinin (technoference) ergenler tarafından duygusal ihmâl biçiminde algılanabildiğini ve problemli dijital kullanım riskini artırabildiğini göstermektedir. Metodolojik olarak alanyazındaki kesitsel desen sınırlılığı ve çift yönlü etkileşim karmaşası dikkat çekmektedir. Sonuç olarak, dijital bağımlılığın önlenmesinde tek başına teknik denetim mekanizmaları yetersiz kalmakta; güvene dayalı, açık ve duygusal açıdan erişilebilir aile temelli müdahalelerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler: Ergenlik, Dijital Bağımlılık, Dijital Ebeveynlik, Ebeveyn Phubbingi, Technoference.

DIGITAL PARENTING STRATEGIES IN THE PREVENTION OF ADOLESCENT DIGITAL ADDICTION: AN EVALUATION OF THE CURRENT LITERATURE

ABSTRACT

Rapid advancements in digital technologies have significantly increased the screen time of children and adolescents, bringing about a risk of digital addiction that adversely affects psychosocial functioning. The developmental characteristics of adolescence, characterized by

heightened impulsive tendencies and a strong need for peer approval, render individuals particularly vulnerable to problematic technology use. This review study aims to comprehensively examine the relationship between adolescent digital addiction levels and parenting practices, parenting styles, and family communication dynamics in light of current literature and theoretical models. A review of the relevant literature indicates that the authoritative parenting style (characterized by high warmth and consistent boundaries) serves as the strongest protective factor against the risk of addiction by supporting adolescents' self-regulation skills. Conversely, authoritarian parenting, which involves high psychological control, exacerbates adolescents' tendency to hide their digital behaviors, whereas permissive styles with a lack of boundaries and neglectful parenting devoid of emotional acceptance provide a fertile ground for adolescents to substitute their need for belonging in virtual environments (compensatory internet use). Current research further highlights that rather than parents' restrictive mediation, their own uncontrolled device use (parental phubbing) and the disruption of family interactions by technology (technoference) are perceived by adolescents as a form of implicit emotional neglect, thereby fueling addictive behaviors. Methodologically, the predominance of cross-sectional designs in the literature and the ambiguity surrounding bidirectional interactions stand out as critical limitations. In conclusion, technical monitoring mechanisms alone remain insufficient in preventing digital addiction; hence, there is a crucial need to develop trust-based, open, and emotionally accessible family-based intervention programs.

Keywords: Adolescence, Digital Addiction, Digital Parenting, Parental Phubbing, Technoference.

1.GİRİŞ

Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı gelişmeler bireylerin günlük yaşam alışkanlıklarını önemli ölçüde değiştirmiş ve internet tabanlı uygulamalar yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Özellikle akıllı telefonlar, sosyal medya platformları, çevrimiçi oyunlar ve dijital iletişim araçlarının yaygınlaşması çocuk ve ergenlerin teknolojiyle etkileşim süresini belirgin biçimde arttırmıştır. Günümüzde ergenler dijital ortamları yalnızca bilgi edinme amacıyla değil; sosyalleşme, eğlenme, kimlik geliştirme ve duygusal ihtiyaçlarını karşılama amacıyla da yoğun biçimde kullanmaktadır (Anderson ve Jiang, 2018). Bununla birlikte dijital teknolojilerin kontrolsüz ve aşırı kullanımının bireylerin psikolojik, sosyal ve akademik işlevselliği üzerinde çeşitli olumsuz sonuçlara yol açabildiği belirtilmektedir (Kuss ve Griffiths, 2017).

Son yıllarda özellikle ergenler arasında artış gösteren problemli internet kullanımı, sosyal medya bağımlılığı ve çevrimiçi oyun bağımlılığı gibi davranışsal bağımlılık türleri dikkat çekmektedir. Alanyazında bu durum çoğunlukla “dijital bağımlılık” kavramı çerçevesinde ele alınmaktadır. Dijital bağımlılık; bireyin dijital araç kullanımını kontrol etmekte güçlük yaşaması, kullanım süresinin giderek artması, kullanım engellendiğinde huzursuzluk hissetmesi ve bu kullanımın günlük yaşam işlevselliğini olumsuz etkilemesine rağmen davranışı sürdürmesi olarak tanımlanmaktadır (Young, 1998). Amerikan Psikiyatri Birliği tarafından yayımlanan DSM-5’te “İnternet Oyun Oynama Bozukluğu”nun ileri araştırma gerektiren bir durum olarak ele alınması da dijital bağımlılığın ruh sağlığı alanındaki önemini ortaya koymaktadır (American Psychiatric Association [APA], 2013).

Ergenlik dönemi biyolojik, bilişsel, sosyal ve duygusal değişimlerin yoğun olarak yaşandığı kritik bir gelişim dönemidir. Bu dönemde kimlik gelişimi, akran ilişkileri, aidiyet ihtiyacı ve özerklik kazanma çabası ön plana çıkmaktadır (Steinberg, 2014). Ergenlerin gelişimsel

özellikleri dikkate alındığında dijital ortamlara yönelimin bu dönemde daha yoğun yaşanabildiği görülmektedir. Özellikle sosyal kabul görme isteği, çevrimiçi etkileşimlerin cazibesi ve anlık ödül mekanizmaları, ergenleri problemlili dijital kullanım açısından daha riskli hale getirebilmektedir (Kardefelt-Winther, 2014).

Araştırmalar ergenlerde dijital bağımlılığın akademik başarıda düşüş, dikkat problemleri, uyku bozuklukları, depresyon, kaygı, yalnızlık ve sosyal izolasyon gibi çeşitli psikososyal sorunlarla ilişkili olduğunu göstermektedir (Kuss ve Lopez-Fernandez, 2016; Odacı ve Çıkrıkçı, 2017). Ayrıca yoğun dijital kullanımın aile içi iletişim problemlerini arttırabildiği ve ebeveyn-ergen ilişkisini olumsuz yönde etkileyebildiği belirtilmektedir (Twenge ve Campbell, 2018). Bu nedenle ergenlerin dijital kullanım davranışlarının hangi faktörlerden etkilendiğinin incelenmesi önem taşımaktadır.

Ergenin gelişim sürecinde aile en önemli çevresel faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle ebeveyn tutumları, ebeveyn-çocuk ilişkisi, aile içi iletişim biçimi ve ebeveyn denetimi ergen davranışları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Baumrind, 2013). Dijital teknolojilerin yaşamın merkezine yerleşmesiyle birlikte “dijital ebeveynlik” ve “ebeveyn aracılığı” kavramları da önem kazanmıştır. Ebeveynlerin çocuklarının dijital medya kullanımını izleme, sınırlandırma ve yönlendirme biçimlerinin ergenlerin dijital kullanım alışkanlıklarını etkileyebildiği belirtilmektedir (Livingstone ve Helsper, 2008).

Alanyazında ebeveynlik uygulamaları ile ergenlerin dijital bağımlılık düzeyleri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların sayısında son yıllarda belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalar genel olarak sağlıklı aile ilişkileri, güçlü ebeveyn desteği ve etkili ebeveyn denetiminin dijital bağımlılık açısından koruyucu rol oynadığını göstermektedir (Nielsen vd., 2019; Schneider vd., 2017; Wang vd., 2018). Bununla birlikte, bazı araştırmalar aşırı kısıtlayıcı veya müdahaleci ebeveyn yaklaşımlarının ergenler tarafından özerklik ve mahremiyet alanlarına yönelik bir müdahale olarak algılanabileceğini; bunun da bilgi saklama, gizli kullanım davranışları ve ebeveyn-ergen ilişkisinde yaşanan sorunlarla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Darling ve Tilton-Weaver, 2019; Modecki vd., 2022; Padilla-Walker vd., 2020; Symons vd., 2017). Bu durum ebeveynlik uygulamalarının yalnızca denetim boyutuyla değil; iletişim, duygusal yakınlık ve model olma gibi çok boyutlu bir perspektifle ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Bu inceleme çalışmasının amacı, ergenlerde dijital bağımlılık ile ebeveynlik uygulamaları arasındaki ilişkinin mevcut alanyazın doğrultusunda incelenmesidir. Bu kapsamda öncelikle dijital bağımlılık kavramı ele alınacak, ardından ebeveynlik uygulamaları ve dijital ebeveynlik yaklaşımları açıklanacaktır. Son olarak alanyazında yer alan araştırma bulguları doğrultusunda ebeveynlik uygulamalarının ergenlerin dijital bağımlılık düzeyleri üzerindeki etkisi tartışılacaktır. Bu çalışmanın, dijital bağımlılığın önlenmesine yönelik aile temelli müdahalelere ve gelecekte yapılacak araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.1. Dijital Bağımlılık Kavramı

Dijital teknolojilerin sağladığı kolaylıklar bireylerin yaşam kalitesini artırabilmek ile birlikte bu araçların aşırı ve kontrolsüz kullanımının çeşitli psikososyal sorunlara yol açabileceği belirtilmektedir. Özellikle son yıllarda problemlili internet kullanımı, sosyal medya bağımlılığı, akıllı telefon bağımlılığı ve çevrimiçi oyun bağımlılığı gibi kavramlar alanyazında sıklıkla ele alınmaktadır (Kuss ve Griffiths, 2017).

Alanyazında dijital bağımlılık kavramına ilişkin ortak bir tanım bulunmamakla birlikte genel olarak bireyin dijital araç kullanımını kontrol etmekte güçlük yaşaması, kullanım süresinin giderek artması, kullanım engellendiğinde huzursuzluk hissetmesi ve bu davranışın bireyin

akademik, sosyal ve psikolojik işlevselliğini olumsuz etkilemesine rağmen sürdürülmesi şeklinde tanımlandığı görülmektedir (Young, 1998). Dijital bağımlılık çoğunlukla davranışsal bağımlılıklar kapsamında değerlendirilmektedir. Madde bağımlılıklarında görülen tolerans geliştirme, yoksunluk belirtileri, kontrol kaybı ve günlük işlevsellikte bozulma gibi belirtilerin dijital bağımlılıkta da görülebildiği belirtilmektedir (Griffiths, 2005).

Dijital bağımlılık kavramı geniş bir çerçeveyi kapsamakta olup problemli internet kullanımı, sosyal medya bağımlılığı, çevrimiçi oyun bağımlılığı ve akıllı telefon bağımlılığı gibi alt türleri içermektedir (Caplan, 2002). Sosyal medya bağımlılığı ise bireyin sosyal medya platformlarına yoğun zihinsel uğraş göstermesi, sosyal medya kullanımını azaltmakta zorlanması ve kullanımın yaşam işlevselliğini olumsuz etkilemesine rağmen sürdürülmesi şeklinde açıklanmaktadır (Andreassen ve Pallesen, 2014). Özellikle ergenler arasında çevrimiçi oyunların ve sosyal medya platformlarının yoğun biçimde kullanılması bu alanlara yönelik bağımlılık davranışlarının daha görünür hale gelmesine neden olmuştur.

Amerikan Psikiyatri Birliği tarafından yayımlanan DSM-5'te "İnternet Oyun Oynama Bozukluğu"nın ileri araştırma gerektiren bir durum olarak ele alınması, dijital bağımlılığın ruh sağlığı alanında giderek daha fazla önem kazandığını göstermektedir (APA, 2013). Dünya Sağlık Örgütü de Uluslararası Hastalık Sınıflandırması'nın on birinci revizyonunda (ICD-11) "oyun oynama bozukluğu"na yer vermiştir (World Health Organization [WHO], 2019). Bu gelişmeler dijital bağımlılığın yalnızca teknolojik bir sorun değil aynı zamanda psikolojik ve davranışsal boyutları bulunan önemli bir halk sağlığı problemi olarak değerlendirildiğini göstermektedir.

Araştırmalar internet bağımlılığının ergenler arasında önemli düzeyde görülen bir problem olduğunu ortaya koymaktadır (Zehng vd., 2025). Ergenlik dönemine özgü kimlik kimlik gelişimi, sosyal ilişkilerin ve akran etkileşimlerinin önem kazanması gibi gelişimsel süreçler dijital ortamların ergenlerin yaşamında daha merkezi bir konuma gelmesen katkıda bulunabilmektedir (Avci vd., 2025). Sosyal kabul görme isteği, kimlik geliştirme süreci ve akran ilişkilerine verilen önemle birleşen çevrimiçi etkileşimlerin anlık ödüllendirici yapısı, ergenleri dijital bağımlılık açısından riskli bir gruba dönüştürebilmektedir (Kuss ve Lopez-Fernandez, 2016). Bunun yanı sıra ergenlerin duygu düzenleme becerilerindeki yetersizlikler, stres ve olumsuz duygulardan kaçış amacıyla dijital mecraları işlevsel olmayan bir başa çıkma stratejisi olarak kullanmalarına zemin hazırlamaktadır (Billipeux vd., 2015; Caplan, 2010).

Dijital bağımlılığın ortaya çıkışında bireysel, ailesel ve çevresel birçok faktörün etkili olduğu belirtilmektedir. Düşük benlik saygısı, yalnızlık, depresyon, kaygı ve sosyal destek eksikliği gibi psikolojik değişkenlerin problemli dijital kullanım ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Odacı ve Çıkrıkçı, 2017). Bununla birlikte aile içi iletişim sorunları, yetersiz ebeveyn denetimi ve olumsuz ebeveynlik uygulamaları da dijital bağımlılık açısından önemli risk faktörleri arasında gösterilmektedir (Wang vd., 2018). Bu nedenle dijital bağımlılığın yalnızca bireysel özelliklerle açıklanamayacağı; aile, sosyal çevre ve gelişimsel özelliklerin birlikte değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir yapı olduğu düşünülmektedir.

1.2.Ergenlik Döneminde Dijital Bağımlılığın Psikososyal Etkileri

Dijital teknolojilerin yoğun ve kontrolsüz kullanımının ergenlerin psikolojik, sosyal ve akademik yaşamları üzerinde çeşitli olumsuz etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir. Özellikle ergenlik döneminin gelişimsel özellikleri dikkate alındığında dijital bağımlılığın bu yaş grubunda daha belirgin sonuçlara yol açabildiği görülmektedir. Alanyazında dijital bağımlılığın akademik işlevselliğinden ruh sağlığına ve aile ilişkilerinden sosyal yaşama kadar birçok alanla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Kuss ve Griffiths, 2017).

Araştırmalar dijital bağımlılığın ergenlerde akademik başarı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Dijital ortamlarda geçirilen sürenin artması ders çalışma süresinin azalmasına, dikkat dağınıklığına ve akademik sorumlulukların ihmal edilmesine neden olabilmektedir. Özellikle sosyal medya ve çevrimiçi oyun kullanımının yoğun olduğu ergenlerde akademik performansın düşebildiği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra sürekli çevrimiçi olma isteği ders sırasında dikkat problemlerini arttırabilmekte ve öğrenme süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir (Lepp vd., 2015).

Dijital bağımlılığın ruh sağlığı üzerindeki etkileri de alanyazında sıklıkla vurgulanmaktadır. Odacı ve Çıkrıkçı'nın (2017) çalışmasında problemlili internet kullanımı ile depresyon, kaygı, stres ve yalnızlık arasında anlamlı ilişkiler bulunduğu belirtilmektedir. Özellikle sosyal medya kullanımının yoğun olduğu ergenlerde sosyal karşılaştırma davranışlarının arttığı, bunun da benlik saygısında azalma ve yetersizlik duygularına yol açabildiği ifade edilmektedir. Ayrıca çevrimiçi ortamda sürekli sosyal onay arayışı içinde olmanın ergenlerin psikolojik iyi oluşunu olumsuz etkileyebildiği belirtilmektedir (Valkenburg vd., 2017).

Uyku problemleri de dijital bağımlılıkla ilişkili önemli sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle gece saatlerinde yoğun ekran kullanımının uyku süresini azalttığı ve uyku kalitesini bozduğu bildirilmektedir (Twenge ve Campbell, 2018). Akıllı telefon ve sosyal medya kullanımının yatmadan önce sürdürülmesi, melatonin salınımını etkileyerek uyku düzenini bozabilmekte ve gündüz işlevselliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Alanyazında uyku kalitesindeki bu düşüşün; ergenlerde dikkat eksikliği, akademik performans kaybı ve duygu durum bozuklukları ile doğrudan ilişkili olduğu ortaya konmaktadır (Carskadon, 2011; Owens vd., 2014).

Dijital bağımlılığın sosyal ilişkiler üzerinde çeşitli olumsuz etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir. Çevrimiçi etkileşimlerin yüz yüze iletişimin yerini almaya başlaması, bazı ergenlerde sosyal izolasyon ve yalnızlık hissinin artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Her ne kadar dijital ortamlar sosyal bağlantı kurma fırsatı sunsa da aşırı kullanımın gerçek yaşam ilişkilerini zayıflatabildiği ifade edilmektedir. Problemlili internet kullanımına ilişkin güncel çalışmalar, yoğun dijital medya kullanımının aile içi iletişim süreçleri, sosyal destek algısı ve kişilerarası ilişkiler üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir (Gong vd., 2024; Zhang vd., 2024). Özellikle aile üyeleriyle geçirilen zamanın azalması ve yüz yüze etkileşimin sınırlandırılması, aile içi ilişkilerin niteliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca yalnızlık ile problemlili akıllı telefon/internet kullanımı arasında karşılıklı güçlendirici bir ilişkinin bulunabileceği belirtilmektedir (Zhao vd., 2024).

Ayrıca dijital bağımlılığın davranışsal sorunlarla da ilişkili olduğu bildirilmektedir. Özellikle dürtüsellik ve düşük öz denetim düzeyinin problemlili dijital kullanım ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Li vd., 20121). Çevrimiçi oyunlara aşırı yönelimin saldırgan davranışları arttırabileceği ve sosyal sorumlulukların ihmal edilmesine neden olabileceği ifade edilmektedir (Xu, Wang ve Ma, 2023). Bunun yanı sıra dijital bağımlılığın fiziksel sağlık üzerinde de hareketsizlik, göz yorgunluğu, kas-iskelet sistemi problemleri ve sağlıksız yaşam alışkanlıkları gibi çeşitli olumsuz etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir (Mustafaoğlu ve Yasacı, 2018).

Bununla birlikte alanyazında dijital teknolojilerin tamamen olumsuz bir unsur olarak değerlendirilmemesi gerektiğini savunan çalışmalar da bulunmaktadır. Dijital ortamların bilgiye erişim, sosyal destek sağlama ve kimlik keşfi açısından bazı olumlu işlevler taşıdığı belirtilmektedir (Boyd, 2014). Ancak temel sorunun teknolojinin varlığından ziyade kullanım biçimi ve kullanım süresinin kontrol edilememesi olduğu vurgulanmaktadır (Ertemel ve Aydın, 2018). Bu nedenle ergenlerde dijital bağımlılığın değerlendirilmesinde yalnızca ekran süresine

değil, kullanımın bireyin işlevselliği üzerindeki etkilerine de odaklanması gerektiği düşünülmektedir. Tüm bu bulgular doğrultusunda dijital bağımlılığın ergenlerin psikolojik, sosyal ve akademik gelişimleri üzerinde çok boyutlu etkiler oluşturduğu görülmektedir. Bu durum ergenlerde dijital bağımlılığın ortaya çıkışında etkili olan koruyucu ve risk faktörlerinin incelenmesini önemli hale getirmektedir. Bu bağlamda aile yapısı, ebeveyn tutumları ve ebeveynlik uygulamaları dikkat çeken değişkenler arasında yer almaktadır.

1.3.Dijital Ebeveynlik

Dijital teknolojilerin günlük yaşamın merkezine yerleşmesiyle birlikte ebeveynlik uygulamaları da dijitalleşen yaşam koşulları çerçevesinde yeniden ele alınmaya başlanmıştır. Özellikle çocuk ve ergenlerin internet, sosyal medya ve mobil cihaz kullanımındaki artış, ebeveynlerin dijital ortamlara yönelik tutum ve davranışlarını önemli hale getirmiştir. Bu bağlamda son yıllarda alanyazında “dijital ebeveynlik” kavramının öne çıktığı görülmektedir. Dijital ebeveynlik genel olarak ebeveynlerin çocuklarının dijital medya kullanımını yönetme, yönlendirme, denetleme ve dijital ortamlarda karşılaşılabilecekleri risklere karşı koruma süreçlerini ifade etmektedir (Livingstone vd., 2017).

Modecki ve diğerlerinin (2022) dijital ebeveynlik alanındaki ölçme çalışmalarını sistematik olarak inceledikleri çalışmada, mevcut araştırmaların dijital ebeveynliği çoğunlukla izleme, denetim ve kısıtlama gibi boyutlar üzerinden ele aldığı; buna karşın dijital teknolojilerin olumlu kullanım alanları, ebeveyn ve ergen arasındaki karşılıklı etkileşim, aileler arasındaki farklılıklar ve ebeveyn dışındaki sosyal destek kaynaklarının yeterince dikkate alınmadığı belirtilmiştir. Araştırmacılar dijital ebeveynliğin ergenlerin güncel teknoloji kullanım biçimleriyle uyumlu, gelişimsel özellikleri dikkate alan ve daha kapsamlı bir çerçevede ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Vetesi ve Schiller’in (2025) dijital ebeveynliğin güncel literatürde nasıl kavramsallaştırıldığını inceleyen sistematik derlemesinde dijital ebeveynliğin teknolojik, eğitimsel ve sosyokültürel etkenlerin şekillendirdiği çok boyutlu ve bağlama duyarlı bir uygulama alanı olduğu görülmüştür. Bulgular, etkili dijital ebeveynliğin yalnızca kural koyma ve denetimle sınırlı olmadığını; ebeveynlerin dijital okuryazarlığı, duygusal duyarlılığı ve çocukların gelişimsel ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen aracılık stratejilerinin de önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca bireysel, ilişkisel ve kültürel faktörlerin dijital ebeveynlik uygulamalarının biçimlenmesinde rol oynadığı vurgulanmaktadır.

Nichols ve Selim (2022) kısıtlayıcı aracılığın çocukların çevrimiçi etkinliklerini yönetmede en sık bildirilen ebeveyn yaklaşımı olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte çocukların yaşı, cinsiyeti ve kırılganlık düzeyinin yanı sıra ebeveynlerin bilgi ve deneyimlerinin de ebeveyn aracılığı uygulamalarını etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca ebeveynlerin kendi çevrimiçi etkinliklerinin çocukların dijital deneyimleriyle ilişkili olabileceği ve dijital araçların ebeveynlik süreçlerini destekleyebildiği vurgulanmıştır.

Başka bir çalışmada ebeveynlerin dijital aracılık stratejilerinin yalnızca ebeveynlik tercihlerine değil, sahip oldukları ekonomik, sosyal ve kültürel kaynaklara ve dijital ebeveynlik hazırbulunuşluklarına göre de farklılaşabildiği görülmüştür. Dijital ebeveynlik hazırbulunuşluğu; ebeveynlerin dijital ebeveynliğe ilişkin öz-yeterlikleri, tutumları ve bilgileri çerçevesinde ele alınmış ve ebeveyn kaynakları ile dijital aracılık stratejileri arasındaki ilişkide önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgular, dijital ebeveynlik uygulamalarının ebeveynlerin sahip olduğu kaynaklar ve dijital yeterliklerinden bağımsız olarak ele alınamayacağını göstermektedir (Zhao vd., 2023).

Tang ve Liu (2025) dijital ebeveynliği, ebeveynlerin çocukları için dijital kurallar belirlemesi ve ebeveynlerin kendi dijital kullanım alışkanlıkları olmak üzere iki boyutta ele almıştır. Çin’de ebeveyn-çocuk eşleştirilmiş verileri üzerinden gerçekleştirilen çalışmada, ebeveynlerin dijital kullanımına yönelik kural belirlemelerinin çocukların öznel iyi oluşuyla pozitif yönde ilişkili olduğu ve bu ilişkinin çocukların akıllı telefon ve mobil video aşırı kullanımı aracılığıyla açıklanabildiği bulunmuştur. Buna karşılık, ebeveynlerin akıllı telefon aşırı kullanımının çocukların öznel iyi oluşuyla negatif yönde ilişkili olduğu ve bu ilişkinin de çocukların akıllı telefon ve mobil video aşırı kullanımı aracılığıyla aracılık edildiği görülmüştür.

Dijital ebeveynlik yalnızca ekran süresini sınırlandırmayı değil aynı zamanda çocukların dijital dünyada güvenli, bilinçli ve dengeli biçimde var olmalarını desteklemeyi de kapsamaktadır. Bu nedenle dijital ebeveynlik kavramı; teknik bilgi, iletişim becerisi, rehberlik, denetim ve model olma gibi çok boyutlu özellikleri içermektedir (Clark, 2011). Özellikle teknolojinin hızlı değişimi karşısında ebeveynlerin dijital medya konusunda yeterli bilgiye sahip olmalarının, çocuklarının dijital kullanım alışkanlıklarını sağlıklı biçimde yönlendirebilmeleri açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Araştırmalar, ebeveynlerin dijital medya kullanımına yönelik yaklaşımlarının ergenlerin dijital davranışları üzerinde belirleyici rol oynayabildiğini göstermektedir. Açık iletişim kuran, rehberlik sağlayan ve dengeli sınırlar koyabilen ebeveynlerin çocuklarında problemlili dijital kullanım davranışlarının daha düşük düzeyde görüldüğü bildirilmektedir. Buna karşılık yetersiz ebeveyn denetimi, tutarsız kurallar ve aile içi iletişim sorunlarının dijital bağımlılık riskini artırabileceği ifade edilmektedir (Nikken ve Jansz, 2014).

Dijital ebeveynlik bağlamında ebeveynlerin çocuklarının çevrimiçi etkinliklerini tamamen yasaklayıcı veya aşırı kontrolcü biçimde yönetmelerinin her zaman koruyucu sonuçlar doğurmadığı belirtilmektedir. Özellikle ergenlik döneminde bağımsızlaşma ihtiyacının artması nedeniyle aşırı kontrolcü tutumların gizli kullanım davranışlarını artırabileceği ve ebeveyn-ergen çatışmalarına yol açabileceği ifade edilmektedir (Padilla-Walker ve Coyne, 2011). Bu nedenle alanyazında destekleyici iletişim ve karşılıklı güvene dayalı ebeveynlik yaklaşımının, ergenlerin çevrimiçi ortamlardaki öz denetim mekanizmalarını geliştirmede çok daha işlevsel olduğu vurgulanmaktadır (Arıcak vd., 2019; Kircaburun vd., 2020). Bununla birlikte dijital ebeveynlik yalnızca çocukların davranışlarını denetlemekle sınırlı değildir. Ebeveynlerin kendi dijital medya kullanım alışkanlıklarının da çocuklar üzerinde önemli bir model oluşturduğu belirtilmektedir. Sosyal Öğrenme Kuramı’na göre çocuklar ve ergenler, ebeveyn davranışlarını gözlemleyerek öğrenmektedir (Bandura ve Walters, 1977). Bu doğrultuda ebeveynlerin yoğun ekran kullanımı, sürekli çevrimiçi olma davranışı veya teknoloji kullanımına ilişkin tutumları, ergenlerin dijital alışkanlıklarını etkileyebilmektedir. Araştırmalar, ebeveynlerin problemlili dijital kullanım davranışlarının çocukların ekran kullanım süresiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir (Lauricella vd., 2015).

Dijital ebeveynlik uygulamalarının etkili biçimde yürütülebilmesi için ebeveynlerin yalnızca sınırlayıcı kurallar koymasının yeterli olmadığı; aynı zamanda çocuklarıyla sağlıklı iletişim kurmaları, dijital riskler konusunda farkındalık geliştirmeleri ve güven temelli bir ilişki oluşturmaları gerektiği belirtilmektedir. Özellikle siber zorbalık, çevrimiçi istismar, uygunsuz içeriklere maruz kalma ve dijital bağımlılık gibi risklerin artması, ebeveynlerin dijital okuryazarlık becerilerinin önemini daha da artırmaktadır (Livingstone vd., 2017).

Sonuç olarak dijital ebeveynlik, günümüz aile yaşamının önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Ebeveynlerin dijital ortamlara yönelik rehberlik ve denetim becerileri, ergenlerin teknoloji kullanım alışkanlıklarının şekillenmesinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle ergenlerde dijital

bağımlılığın anlaşılmasında dijital ebeveynlik uygulamalarının değerlendirilmesi önemli görülmektedir.

1.4.Ebeveyn Aracılık Stratejileri

Ebeveynlerin çocuklarının dijital medya kullanımını yönetme biçimleri alanyazında çoğunlukla “ebeveyn aracılığı” kavramı çerçevesinde ele alınmaktadır. Ebeveyn aracılığı, ebeveynlerin çocuklarının medya kullanımını düzenlemek, yönlendirmek ve olası dijital riskleri azaltmak amacıyla kullandıkları stratejileri ifade etmektedir (Livingstone ve Helsper, 2008). Dijital teknolojilerin çocuk ve ergenlerin yaşamındaki yerinin artmasıyla birlikte ebeveyn aracılık stratejileri de önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Alanyazında ebeveyn aracılığı genellikle aktif aracılık, kısıtlayıcı aracılık ve birlikte medya kullanımı olmak üzere üç temel başlık altında incelenmektedir (Nathanson, 1999). Bununla birlikte son yıllarda dijital izleme ve teknik denetim uygulamaları da ebeveyn aracılık stratejileri arasında değerlendirilmeye başlanmıştır (Nikken ve Jansz, 2014).

Güncel bir sistematik derleme çalışmasında dijital ortamda ebeveyn aracılığına ilişkin araştırmalar incelendiğinde kısıtlayıcı aracılık uygulamalarının yaygınlığını korumakla birlikte, ebeveyn ve çocuk arasındaki açık iletişimi ve çevrimiçi içerikler üzerine karşılıklı etkileşimi temel alan aktif aracılık yaklaşımlarının giderek daha fazla önem kazandığı görülmektedir. Ayrıca ebeveynlerin dijital yeterlik düzeylerinin çocuklarının çevrimiçi güvenliğini sağlama ve dijital ortamları etkili biçimde yönlendirme kapasiteleri açısından önemli bir faktör olduğu belirtilmektedir (Banic ve Orehovacki, 2024).

Brito ve diğerlerinin (2017) 14 Avrupa ülkesinden elde edilen verileri karşılaştırarak gerçekleştirdiği çalışmada küçük çocukların dijital teknoloji kullanımında otoritatif ebeveyn aracılığının en yaygın aracılık biçimi olduğu görülmüştür. Çalışmada farklı ebeveyn aracılığı biçimleri arasında çocukların davranışlarına göre dijital cihazların kullanımına izin verme ya da geri çekme, uygunsuz içerikleri kontrol etme ve kullanım süresini düzenleme gibi ortak uygulamaların bulunduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra ebeveynlerin teknolojiye yönelik algı ve tutumlarının, benimsedikleri ebeveyn aracılığı biçimi üzerinde önemli bir rol oynadığı ve bu tutumların çocukların dijital medya ile kurdukları ilişkiyi etkileyebildiği ifade edilmiştir.

Ebeveyn aracılığı ile problemli medya kullanımı arasındaki ilişkiyi inceleyen sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, aktif aracılık ve birlikte medya kullanımının problemli medya kullanımı ile anlamlı biçimde ilişkili olduğu, buna karşılık kısıtlayıcı aracılık ile problemli medya kullanımı arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Bununla birlikte alt grup analizlerinde ebeveyn aracılığı ile problemli medya kullanımı arasındaki ilişkilerin farklı koşullara göre değişebildiği ve bu ilişkinin tek yönlü biçimde değerlendirilmemesi gerektiği vurgulanmıştır (Fam vd., 2023).

Nielsen ve diğerlerinin (2019) ergenlerde ebeveyn aracılığı ile problemli çevrimiçi ekran kullanımı arasındaki ilişkiyi inceleyen sistematik derlemesinde, herhangi bir ebeveyn aracılığı biçiminin problemli ekran kullanımını tutarlı biçimde azalttığı ya da artırdığı sonucuna ulaşılmamıştır. Bununla birlikte, ebeveyn aracılığının hiç olmamasının problemli internet kullanımı ve problemli çevrimiçi oyun ile daha yüksek düzeylerde ilişkili olabileceği; aktif aracılığın ise özellikle problemli internet kullanımı açısından daha düşük problemli kullanım düzeyleriyle ilişkili olabileceği görülmüştür. Kısıtlayıcı aracılığın problemli ekran kullanımıyla ilişkisi ise uygulanan kısıtlamanın türüne göre değişkenlik göstermiştir.

Aktif aracılık, ebeveynlerin çocuklarıyla dijital içerikler hakkında konuşmasını, rehberlik sağlamasını ve medya kullanımına ilişkin farkındalık geliştirmesini içermektedir. Bu yaklaşımda ebeveynler çocuklarıyla açık iletişim kurmakta, çevrimiçi ortamların riskleri ve

güvenli kullanımı konusunda bilgi paylaşımında bulunmaktadır. Aktif aracılığın ergenlerin eleştirel düşünme becerilerini desteklediği ve problemlili dijital kullanım davranışlarını azaltabildiği belirtilmektedir. Özellikle güvene dayalı iletişim kurulan aile ortamlarında ergenlerin dijital riskler karşısında daha bilinçli davranabildiği ifade edilmektedir (Livingstone vd., 2017).

Kısıtlayıcı aracılık ise ebeveynlerin çocuklarının medya kullanım süresi, erişebilecekleri içerikler veya kullanabilecekleri dijital platformlar üzerinde çeşitli sınırlar koymasını ifade etmektedir. Ekran süresinin sınırlandırılması, belirli uygulamaların yasaklanması veya internet kullanım saatlerinin düzenlenmesi bu strateji kapsamında değerlendirilmektedir (Nikken ve Jansz, 2014). Araştırmalar, belirli düzeyde sınır koymanın özellikle küçük yaş gruplarında koruyucu etkiler oluşturabildiğini göstermektedir. Ancak ergenlik döneminde aşırı kısıtlayıcı tutumların bazı durumlarda ters etki yaratabileceği belirtilmektedir. Özellikle katı denetim uygulamalarının ergenlerde gizli kullanım davranışlarını artırabileceği ve ebeveyn-ergen çatışmalarına yol açabileceği ifade edilmektedir (Padilla-Walker ve Coyne, 2011).

Birlikte medya kullanımı ise ebeveynlerin çocuklarıyla birlikte dijital içerik tüketmesini ifade etmektedir. Bu yaklaşımda ebeveynler çocuklarının medya deneyimlerine doğrudan katılım göstermekte ve ortak deneyimler aracılığıyla rehberlik sağlamaktadır. Özellikle birlikte medya kullanımının aile içi iletişimi güçlendirebildiği ve ebeveynlerin çocuklarının dijital alışkanlıklarını daha yakından gözlemleyebilmelerine olanak sağladığı belirtilmektedir (Clark, 2011). Bununla birlikte yalnızca birlikte medya kullanımının problemlili dijital davranışları önlemede yeterli olmayabileceği; bu sürecin iletişim ve rehberlikle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte ebeveynlerin dijital izleme ve teknik denetim yöntemlerine daha fazla başvurduğu görülmektedir. Ebeveyn kontrol uygulamaları, konum takibi, ekran süresi sınırlamaları ve içerik filtreleme sistemleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu tür teknik araçların çocukları çevrimiçi risklerden koruma açısından faydalı olabileceği belirtilmekle birlikte, aşırı izleme davranışlarının ergenlerde mahremiyet algısını olumsuz etkileyebileceği ifade edilmektedir (Livingstone vd., 2017). Bu nedenle teknik denetim uygulamalarının güven temelli iletişimle birlikte yürütülmesinin daha işlevsel olacağı düşünülmektedir.

Araştırmalar genel olarak destekleyici iletişim içeren ebeveyn aracılık stratejilerinin ergenlerin dijital medya kullanımını daha sağlıklı biçimde düzenleyebildiğini göstermektedir. Özellikle aktif aracılık ve demokratik ebeveynlik uygulamalarının problemlili internet kullanımı ve dijital bağımlılık düzeyleriyle negatif yönde ilişkili olduğu bildirilmektedir. Buna karşılık yalnızca kontrol ve yasaklama temelli yaklaşımların uzun vadede etkili olmayabileceği belirtilmektedir (Wang vd., 2018). Sonuç olarak ebeveyn aracılık stratejileri, ergenlerin dijital medya kullanım alışkanlıklarının şekillenmesinde önemli bir role sahiptir. Ebeveynlerin kullandıkları aracılık yöntemlerinin niteliği, ergenlerin dijital teknolojileri nasıl kullandıkları üzerinde belirleyici olabilmektedir. Bu nedenle ergenlerde dijital bağımlılığın anlaşılmasında ebeveyn aracılık stratejilerinin değerlendirilmesi önemli görülmektedir.

2.Sonuç

Bu inceleme çalışmasında ergenlerin dijital bağımlılık düzeyleri ile ebeveynlik uygulamaları arasındaki ilişkiler, alanyazındaki araştırmalar çerçevesinde tartışılmıştır. Elde edilen bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, ergenlerin teknoloji kullanım kalıplarının aile içi ilişkilerden bağımsız olmadığı görülmektedir. Bu durum, Belsky'nin (1984) ebeveynlik süreç modeliyle tutarlılık göstermektedir. Bahsi geçen modele göre çocuk yetiştirme süreçleri;

ebeveynin özellikleri, çocuğun yapısı ve evlilik ilişkileri gibi çoklu faktörlerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Dolayısıyla ergenin dijital bağımlılık düzeyi de bu dinamik sistemin bir çıktısı olarak ele alınmalıdır.

Alanyazındaki çalışmalar incelendiğinde, demokratik ebeveynlik tutumunun koruyucu bir faktör olduğu konusunda güçlü bir fikir birliği göze çarpmaktadır. Baumrind (1991) tarafından tanımlanan bu tutum, yüksek düzeyde sıcaklık ve tutarlı sınırları bir arada barındırmaktadır. Demokratik ailelerde yetişen ergenlerin öz düzenleme becerilerinin daha gelişmiş olduğu bilinmektedir. Ergenlik döneminde prefrontal korteks gelişimi henüz tamamlanmadığı için bireyler dürtüsel davranmaya ve anlık ödüllere yönelmeye daha yatkındır. Lam ve Wong (2015), aile içi desteğin ve açık iletişimin ergenlerin stresle başa çıkmasını kolaylaştırdığını belirtmektedir. Bu sayede ergenler, olumsuz duygulardan kaçmak amacıyla dijital dünyayı bir telafi aracı olarak kullanmaya daha az ihtiyaç duymaktadır.

Buna karşılık; otoriter, ihmalkar ve izin verici ebeveynlik stilleri dijital bağımlılık riskini farklı psikolojik süreçlerle artırmaktadır. Otoriter ebeveynlik, yüksek kontrol ve düşük sıcaklık ile karakterize bir stildir. Padilla-Walker ve Coyne (2011), katı ve baskıcı denetim mekanizmalarının ergenlerde davranışları gizleme eğilimini artırdığını vurgulamaktadır. Fiziksel alanda özerkliği kısıtlanan ergen, ebeveyn denetiminden kaçmak için dijital mecralara yönelebilmektedir. Türkiye örneğinde yürütülen araştırmalar da bu durumu desteklemektedir. Ebeveyn-ergen arasındaki çatışma düzeyinin artmasının internet ve oyun bağımlılığını doğrudan tetiklediğini göstermiştir (Ergin, 2022; Tuncay vd., 2023). Nitekim Turan ve diğerleri (2024) de ebeveynlerin psikolojik kontrol düzeyinin ergenlerde internet oyun bozukluğu riskini artırdığına dikkat çekmektedir.

Sınır koyma ve izleme eksikliği ise izin verici ve ihmalkar tutumlarda bağımlılığa zemin hazırlayan temel unsurdur. Ancak bu iki stilin altında yatan psikolojik motivasyonlar farklılık göstermektedir. İzin verici ailelerde ergen, kuralsızlığın getirdiği bir sınırsızlıkla ekran başında zaman geçirmektedir. Bowlby'nin (1969) bağlanma kuramı perspektifinden bakıldığında, ihmalkar ebeveynlik çok daha riskli bir zemin sunmaktadır. Hem denetimden hem de duygusal kabulden yoksun büyüyen ve güvensiz bağlanma örüntüsü geliştiren ergenler, ait olma ihtiyaçlarını aile içinde karşılayamamaktadır. Kardefelt-Winther (2014) tarafından öne sürülen telafi edici internet kullanımı modeline paralel olarak, bu ergenler gerçek yaşamdaki duygusal boşluğu çevrimiçi oyunlar veya sosyal ağlardaki etkileşimlerle ikame etmeye çalışmaktadır.

Güncel tartışmalar sadece ebeveynin kısıtlayıcı stratejilerine değil, ebeveynin kendi teknoloji kullanım davranışlarına da odaklanmaktadır. Bandura'nın (1977) sosyal öğrenme kuramına göre çocuklar ve ergenler, ebeveynlerinin davranışlarını model alarak öğrenirler. Ebeveynin kendisinin ekran başında kontrolsüz zaman geçirmesi, bu davranışı aile içinde normalleştirmektedir. Kim ve diğerlerinin (2020) yürüttüğü araştırma, anne ile ergen arasındaki akıllı telefon bağımlılığı düzeylerinin kuşaklararası bir aktarım gösterdiğini ortaya koymuştur. Daha da önemlisi, alanyazında ebeveynin teknoloji kullanımı nedeniyle aile içi iletişimin bölünmesini somutlaştıran kavramlar öne çıkmaktadır. McDaniel (2020) ile Zhang ve diğerlerinin (2025) gerçekleştirdiği meta-analiz çalışmaları; "technoference" (teknolojik müdahale) ve "ebeveyn phubbingi" durumlarının ergenler tarafından bir tür örtük duygusal ihmal olarak algılandığını göstermektedir. Yüz yüze iletişim esnasında ebeveyninin telefona odaklandığını gören ergen, hissettiği yalnızlığı dindirmek adına yine dijital ortamlara sığınmaktadır. Bu döngü, sadece ekran süresini kısıtlamaya odaklanan geleneksel yaklaşımların neden yetersiz kaldığını açıklamaktadır. Asıl odaklanılması gereken unsur, ebeveyn ile çocuk arasındaki duygusal erişilebilirlik düzeyi ve ebeveyn rehberliğidir.

Son olarak, incelenen araştırmaların metodolojik sınırlılıkları bulguların yorumlanmasında kritik bir tartışma alanıdır. Alanyazındaki çalışmaların büyük bir çoğunluğunun kesitsel desenle yürütölmüş olması dikkat çekmektedir. van den Eijnden ve diğeri (2010), ebeveynlik tutumları ile dijital bağımlılık arasındaki ilişkinin yönünün netleştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Mevcut verilerle, ebeveyn tutumlarının mı bağımlılığa yol açtığı, yoksa bağımlı ergenin yarattığı sorunların mı aile içi çatışmayı artırarak ebeveyn davranışlarını olumsuzlaştırdığı sorusu tam olarak yanıtlanamamaktadır.

Bu çift yönlü etkileşim, kesitsel araştırmaların en büyük sınırısıdır. Bunun yanı sıra, COVID-19 pandemisi gibi makro-sistemik krizler ergenlerin zorunlu olarak ekran sürelerini artırmış ve geleneksel denetim yollarını işlevsiz kılmıştır. Türkiye gibi aile bağlarının ve ilişkiselliğın ön planda olduğı toplumlarda, batı kökenli teknolojik müdahale pratiklerinin etkileri farklılık gösterebilmektedir. Nitekim yerel alanyazında Akay ve Kayılı (2023) ile Avcı ve Ünal (2024) gibi güncel çalışmalar dijital ebeveynlik tutumları ile aile içi medya aracılığının bağımlılık riskini azaltmadaki kritik rolünü doğrulamaktadır. Bu nedenle, yerel alanyazındaki eksiklikleri gidermek amacıyla, ebeveynlerin dijital okuryazarlık düzeylerini de kapsayan boylamsal (longitudinal) araştırmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu inceleme çalışmasında, ergenlerde dijital bağımlılığın ortaya çıkışı, sürdürölmesi ve önlenmesinde ebeveynlik uygulamalarının, ebeveyn tutumlarının ve aile içi dinamiklerin rolü alanyazındaki güncel araştırmalar ve kuramsal modeller çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular bütöncöl bir yaklaşımla ele alındığında, ergenin dijital dünya ile kurduğı problemlili bağın, içinde büyüdüğü aile ekosisteminin ve ebeveynlik süreçlerinin dinamik bir çıktısı olduğı görölmektedir.

Araştırma sonuçları, Baumrind'in (1991) tanımladığı demokratik ebeveynlik tutumunun (yüksek sıcaklık ve tutarlı sınırlandırma), ergenlerin prefrontal korteks gelişiminin getirdiğı dürtösel yönelimleri dengelemede ve öz düzenleme becerilerini geliştirmede önemli bir koruyucu faktör olduğı görölmektedir. Demokratik aile ortamlarında sağlanan açık iletişim ve duygusal destek, ergenlerin gerçek yaşam stresörleriyle işlevsel başa çıkma stratejileri geliştirmelerine olanak tanımakta; böylece ergenlerin dijital mecraları bir "telafi aracı" olarak kullanma ihtiyacını azaltmaktadır. Çalışmanın en dikkat çekici sonuçlarından biri de, ebeveynlerin kısıtlayıcı müdahalelerinden ziyade, kendi dijital kullanım kalıplarının ergen üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileridir. Sosyal öğrenme süreçlerine bağılı olarak ebeveynlerin kontrolsüz ekran kullanımı bu davranışı ev içinde normalleştirirken; yüz yüze etkileşim esnasında ebeveynlerin sergilediğı akıllı telefon odağı (ebeveyn phubbingi) ve aile içi iletişimin dijital araçlarla bölünmesi (technoference), ergenler tarafından duygusal ihmal biçiminde algılanabileceğı düşünölmüştür. Ebeveynin duygusal olarak erişilemez olduğı bu döngüde ergen, hissettiğı yalnızlığı ve dışlanmışlığı dindirmek adına yeniden dijital ortamlara sığınmaktadır.

Sonuç olarak, geleneksel ebeveyn izleme ve teknik denetim mekanizmaları (filtreleme, ekran süresi kısıtlama vb.) tek başına bağımlılığı önlemede yetersiz kalmakta; bu uygulamaların koruyucu bir etki yaratabilmesi için mutlaka güvene dayalı, açık ve duygusal açıdan erişilebilir bir ebeveyn-çocuk ilişkisiyle desteklenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar doğrultusunda, alanyazına, ruh sağlığı uygulamalarına ve aile pratiklerine yönelik geliştirilen öneriler aşağıda sunulmuştur:

- **Boylamsal Desenlerin Arttırılması:** Alanyazındaki mevcut çalışmaların büyük oranda kesitsel olması, ebeveyn tutumları ile dijital bağımlılık arasındaki neden-sonuç ilişkisinin yönünü (çift yönlü etkileşimi) netleştirmeyi zorlaştırmaktadır. Gelecek araştırmalarda,

değişkenler arasındaki boylamsal (longitudinal) ve ardışık etkileri inceleyen nedensel desenlere ağırlık verilmelidir.

- **Kültürel Bağlamın ve Farklı Değişkenlerin İncelenmesi:** Türkiye gibi ilişkiselliğin, geniş aile bağlarının ve ebeveyn kontrol algısının batı toplumlarından farklılaştığı kültürel yapılarda, ebeveyn phubbingi ve technoference gibi güncel kavramların etkileri daha geniş örneklerle incelenmelidir. Ayrıca, ebeveynlerin dijital okuryazarlık düzeyleri ile "sharenting" (dijital ebeveyn paylaşımcılığı) gibi güncel dijital ebeveynlik pratikleri gelecek modellerde aracı/düzenleyici değişken olarak ele alınabilir.
- **Ebeveyn-Ergen Çifti (Dyadic) Çalışmaları:** Verilerin yalnızca ergenden veya yalnızca ebeveyninden toplandığı tek yönlü beyanlar yerine; anne, baba ve ergenden eş zamanlı veri toplayan Aktör-Partner Karşılıklı Bağımlılık Modeli (APIM) gibi ilişkisel/çiftli analiz yöntemleri kullanılarak aile içi dinamikler daha nesnel şekilde haritalandırılmalıdır.
- **Aile Temelli Müdahale Programları:** Dijital bağımlılığa yönelik klinik veya koruyucu müdahalelerde odak noktası yalnızca ergenin ekran süresiyle sınırlı tutulmamalıdır. Psikologlar, psikolojik danışmanlar ve ruh sağlığı uzmanları, müdahale süreçlerine aileyi de dahil etmeli; aile içi iletişim kalitesini, bağlanma güvenliğini ve ebeveynlerin duygusal erişilebilirliğini artırmaya odaklanan "Aile Temelli Dijital Psikoeğitim Programları" geliştirmelidir.
- **Ebeveyn Farkındalık ve Okuryazarlık Eğitimleri:** Okullardaki psikolojik danışma ve rehberlik (PDR) servisleri ile aile danışma merkezleri aracılığıyla ebeveynlere yönelik çalışmalar düzenlenmelidir. Bu çalışmalarda ebeveynlere sadece teknik kısıtlama yöntemleri değil; "ebeveyn phubbingi" kavramı, kendi dijital bağımlılıklarının kuşaklararası aktarımı ve çocuklarıyla nasıl "aktif/demokratik aracılık" kurabilecekleri öğretilmelidir.
- **Öz Düzenleme Becerilerinin Desteklenmesi:** Uzmanlar, ergenlerle yürüttükleri çalışmalarda dijital araçları tamamen yasaklamak yerine, ergenlerin prefrontal korteks gelişimini destekleyici dürtü kontrolü, duygu düzenleme ve zaman yönetimi gibi öz düzenleme mekanizmalarını güçlendirici bilişsel davranışçı müdahalelere odaklanmalıdır.
- **Davranışsal Model Olma:** Ebeveynler, sosyal öğrenme süreçlerini göz önünde bulundurarak ev içinde kendi dijital cihaz kullanım sürelerini ve biçimlerini düzenlemelidir. Ergenden beklenen dengeli teknoloji kullanımı, öncelikle ebeveyn tarafından ev ortamında modellenmelidir.
- **"Teknolojisiz Ev Alanları" ve Ortak Zamanlar:** Aile içi iletişimin teknoloji tarafından bölünmesini (technoference) engellemek adına, özellikle akşam yemekleri, aile sohbetleri veya ortak aktiviteler esnasında dijital cihazların tamamen uzaklaştırıldığı "teknolojisiz zaman ve mekan" kuralları ev içinde demokratik bir katılımıla belirlenmelidir.
- **Duygusal Erişebilirlik ve Aktif Aracılık:** Ebeveynler, ergenlerin dijital dünyadaki varlığını katı ve cezalandırıcı bir otoriteyle denetlemek yerine; çocuklarının dijital deneyimlerine ilgi göstermeli, onlarla çevrimiçi riskler ve içerikler hakkında açık/güvenli iletişim kurmalı (aktif aracılık) ve ergenin ev içinde kendisini değerli, ait ve güvende hissetmesini sağlayacak duygusal desteği sunmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akay, E. ve Kayılı, G. (2023). Dijital ebeveynlik tutumları ile ergenlerde internet bağımlılığı ve duyguları yönetme becerileri arasındaki ilişki. *Çocuk ve Gelişim Dergisi*, 6(11), 48-66.
- Andreassen, C. ve Pallesen, S. (2014). Social network site addiction-an overview. *Current Pharmaceutical Design*, 20(25), 4053-4061.
- American Psychiatric Association. (2013).** *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Aricak, O. T., Dinç, M., Yay, M. ve Griffiths, M. D. (2019). Adapting the short form of the internet gaming disorder scale into Turkish: Validity and reliability. *Addicta: The Turkish Journal on Addictions*, 5, 615–636.
- Anderson, M. ve Jiang, J. (2018). Teens, social media and technology 2018. *Pew Research Center*, 31(2018), 1673-1689.
- Avcı, A. ve Ünal, A. S. (2024). Assessment of internet and social media addiction levels in adolescents aged 12– 18 years by nurses: A multicenter cross-sectional study. *Journal of Child and Adolescent Psychiatric Nursing*, 37(4), e70004.
- Avci, H., Baams, L. ve Kretschmer, T. (2025). A systematic review of social media use and adolescent identity development. *Adolescent research review*, 10(2), 219-236.
- Bandura, A. ve Walters, R. H. (1977). *Social learning theory* (Vol. 1, pp. 33-52). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-hall.
- Banić, L. ve Orehovački, T. (2024). A comparison of parenting strategies in a digital environment: A systematic literature review. *Multimodal technologies and interaction*, 8(4), 32.
- Baumrind, D. (1991). The influence of parenting style on adolescent competence and substance use. *The Journal of Early Adolescence*, 11(1), 56–95. <https://doi.org/10.1177/02724316911111004>
- Baumrind, D. (2013). The influence of parenting style on adolescent competence and substance use. In *Adolescents and their Families* (pp. 22-61). Routledge.
- Belsky, J. (1984). The determinants of parenting: A process model. *Child Development*, 83-96.
- Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss* (No. 79). Random House.
- Boyd, D. (2014). *It's complicated: The social lives of networked teens*. Yale University Press.
- Brito, R., Francisco, R., Dias, P. ve Chaudron, S. (2017). Family dynamics in digital homes: The role played by parental mediation in young children's digital practices around 14 European countries. *Contemporary Family Therapy*, 39(4), 271-280.
- Caplan, S. E. (2002). Problematic Internet use and psychosocial well-being: development of a theory-based cognitive-behavioral measurement instrument. *Computers in human behavior*, 18(5), 553-575.
- Caplan, S. E. (2010). Theory and measurement of generalized problematic Internet use: A two-step approach. *Computers in human behavior*, 26(5), 1089-1097.
- Carskadon, M. A. (2011). Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatric Clinics*, 58(3), 637-647.
- Clark, L. S. (2011). Parental mediation theory for the digital age. *Communication theory*, 21(4), 323-343.
- Darling, N., ve Tilton-Weaver, L. (2019). All in the family: Within-family differences in parental monitoring and adolescent information management. *Developmental Psychology*, 55(2), 390.

- Ergin, D. A. (2022). Parent-Adolescent Conflict Process and the Relationship with Adolescents' Problematic Internet Usage. *Erzincan University Journal of Education Faculty/Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24(1).
- Ertemel, A. V. ve Aydın, G. (2018). Dijital ekonomide teknoloji bağımlılığı ve çözüm önerileri. *Addicta-The Turkish Journal on Addictions*.
- Fam, J. Y., Männikkö, N., Juhari, R. ve Kääriäinen, M. (2023). Is parental mediation negatively associated with problematic media use among children and adolescents? A systematic review and meta-analysis. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 55(2), 89.
- Gong, F., Gong, Z., Liu, H., Yi, P., Jia, Y., Zhuang, J., ... ve Wu, Y. (2024). The impact of problematic internet use on adolescent loneliness-chain mediation effects of social support and family communication. *Psychology Research and Behavior Management*, 1903-1916.
- Griffiths, M. (2005). A 'components' model of addiction within a biopsychosocial framework. *Journal of Substance use*, 10(4), 191-197.
- Griffiths, M. D. ve Kuss, D. (2017). Adolescent social media addiction (revisited). *Education and Health*, 35(3), 49-52.
- Kardefelt-Winther, D. (2014). A conceptual and methodological critique of internet addiction research: Towards a model of compensatory internet use. *Computers in Human Behavior*, 31, 351-354.
- Kim, C., Kang, K. I. ve Lee, N. (2020). Intergenerational transmissions of mother-adolescent smartphone dependency: the mediating role of negative parenting and the moderating role of gender. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5871.
- Kircaburun, K., Alhabash, S., Tosuntaş, Ş. B. ve Griffiths, M. D. (2020). Uses and gratifications of problematic social media use among university students: A simultaneous examination of the Big Five of personality traits, social media platforms, and social media use motives. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 18(3), 525-547.
- Kuss, D. J. ve Griffiths, M. D. (2017). Social networking sites and addiction: Ten lessons learned. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(3), 311.
- Kuss, D. J. ve Lopez-Fernandez, O. (2016). Internet addiction and problematic Internet use: A systematic review of clinical research. *World Journal of Psychiatry*, 6(1), 143.
- Lamborn, S. D., Mounts, N. S., Steinberg, L. ve Dornbusch, S. M. (1991). Patterns of competence and adjustment among adolescents from authoritative, authoritarian, indulgent, and neglectful families. *Child Development*, 62(5), 1049-1065.
- Lam, L. T. M. ve Wong, M. Y. E. (2015, May). Parental Internet behaviour, stress and problematic internet use in adolescents: A parent-child dyad study. In *The Australian and New Zealand Addiction Conference 2015 (ADDICTION 2015): Alcohol, other drugs, behavioural addictions: Prevention, treatment and recovery*.
- Lauricella, A. R., Wartella, E. ve Rideout, V. J. (2015). Young children's screen time: The complex role of parent and child factors. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 36, 11-17.
- Lepp, A., Barkley, J. E. ve Karpinski, A. C. (2015). The relationship between cell phone use and academic performance in a sample of US college students. *Sage Open*, 5(1), 2158244015573169.
- Li, Q., Yu, Y., Wang, X., Wong, S. Y. S., ve Yang, X. (2025). The relationship between parental affective disorders and digital addiction in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Addictive Behaviors*, 164, 108282.

- Li, S., Ren, P., Chiu, M. M., Wang, C. Ve Lei, H. (2021). The relationship between self-control and internet addiction among students: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 12, 735755.
- Livingstone, S. ve Helsper, E. J. (2008). Parental mediation of children's internet use. *Journal of Broadcasting and Electronic Media*, 52(4), 581-599.
- Livingstone, S., Ólafsson, K., Helsper, E. J., Lupiáñez-Villanueva, F., Veltri, G. A. ve Folkvord, F. (2017). Maximizing opportunities and minimizing risks for children online: The role of digital skills in emerging strategies of parental mediation. *Journal of Communication*, 67(1), 82-105.
- McDaniel, B. T. (2019). Parent distraction with phones, reasons for use, and impacts on parenting and child outcomes: A review of the emerging research. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 72-80.
- McDaniel, B. T. (2020). Technoference: Parent mobile device use and implications for children and parent-child relationships. *Zero to Three*, 41(2), 30.
- Modecki, K. L., Goldberg, R. E., Wisniewski, P., ve Orben, A. (2022). What is digital parenting? A systematic review of past measurement and blueprint for the future. *Perspectives on Psychological Science*, 17(6), 1673-1691.
- Mustafaoğlu, R. ve Yasacı, Z. (2018). Dijital oyun oynamanın çocukların ruhsal ve fiziksel sağlığı üzerine olumsuz etkileri. *Bağımlılık Dergisi*, 19(3), 51-58.
- Nathanson, A. I. (1999). Identifying and explaining the relationship between parental mediation and children's aggression. *Communication Research*, 26(2), 124-143.
- Nichols, S., ve Selim, N. (2022). Digitally mediated parenting: A review of the literature. *Societies*, 12(2), 60.
- Nielsen, P., Favez, N., Liddle, H., ve Rigter, H. (2019). Linking parental mediation practices to adolescents' problematic online screen use: A systematic literature review. *Journal of behavioral addictions*, 8(4), 649-663.
- Nikken, P. ve Jansz, J. (2014). Developing scales to measure parental mediation of young children's internet use. *Learning, Media and Technology*, 39(2), 250-266.
- Odacı, H. ve Çıkrıkçı, Ö. (2017). Problemlı internet kullanımında depresyon, kaygı ve stres düzeyine dayalı farklılıklar. *Addicta: The Turkish Journal on Addictions*, 4(1), 41-61.
- Owens, J., Adolescent Sleep Working Group, Committee on Adolescence, Au, R., Carskadon, M., Millman, R., ... ve O'Brien, R. F. (2014). Insufficient sleep in adolescents and young adults: an update on causes and consequences. *Pediatrics*, 134(3), e921-e932.
- Padilla-Walker, L. M. ve Coyne, S. M. (2011). "Turn that thing off!" parent and adolescent predictors of proactive media monitoring. *Journal of Adolescence*, 34(4), 705-715.
- Padilla-Walker, L. M., Stockdale, L. A., Son, D., Coyne, S. M., & Stinnett, S. C. (2020). Associations between parental media monitoring style, information management, and prosocial and aggressive behaviors. *Journal of Social and Personal Relationships*, 37(1), 180-200. <https://doi.org/10.1177/0265407519859653>
- Schneider, L. A., King, D. L. ve Delfabbro, P. H. (2017). Family factors in adolescent problematic Internet gaming: A systematic review. *Journal of Behavioral Addictions*, 6(3), 321-333.
- Steinberg, L. D. (2014). *Adolescence* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Symons, K., Ponnet, K., Walrave, M. ve Heirman, W. (2017). A qualitative study into parental mediation of adolescents' internet use. *Computers in Human Behavior*, 73, 423-432.
- Tang, Y., ve Liu, J. (2025). Digital parenting and children's subjective well-being: the mediation role of children's digital overuse. *Child Indicators Research*, 18(6), 2489-2506.

- Tuncay, P. Y., Bozdoğan, K. E. ve Bozdoğan, E. (2023). Ergenlerde dijital oyun bağımlılığı ve aile içi iletişim arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Eğitim Ve Toplum Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 177-195.
- Turan, N., Alkan, A. ve Çekiç, Y. (2024). Perceived parental psychological control and the risk of internet gaming disorder in adolescents: a cross-sectional study. *Current Psychology*, 43(25), 21735-21744.
- Twenge, J. M. ve Campbell, W. K. (2018). Associations between screen time and lower psychological well-being among children and adolescents: Evidence from a population-based study. *Preventive Medicine Reports*, 12, 271-283.
- Valkenburg, P. M., Koutamanis, M. ve Vossen, H. G. (2017). The concurrent and longitudinal relationships between adolescents' use of social network sites and their social self-esteem. *Computers in Human Behavior*, 76, 35-41.
- van Den Eijnden, R. J., Spijkerman, R., Vermulst, A. A., van Rooij, T. J. ve Engels, R. C. (2010). Compulsive Internet use among adolescents: Bidirectional parent-child relationships. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38(1), 77-89.
- Vetési, E., ve Schiller, E. (2025). Navigating The Digital Age: A Systematic Review of How Digital Parenting is Studied and Conceptualised. *Tudásmenedzsment*, 26(1. különszám), 29-53.
- Xu, M., Wang, X., & Ma, X. (2023). Internet gaming disorder and aggression: A meta-analysis of teenagers and young adults. *Frontiers in Public Health*, 11, 1111889. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1111889>
- Wang, W., Li, D., Li, X., Wang, Y., Sun, W., Zhao, L. ve Qiu, L. (2018). Parent-adolescent relationship and adolescent internet addiction: A moderated mediation model. *Addictive Behaviors*, 84, 171-177.
- Wei, W. X., Zhao, X. X., ve Chooi, W. T. (2025). Family conflict is associated with increased risk of problematic digital media use in children and adolescents: A systematic review with narrative synthesis. *Adolescent Research Review*, 1-14.
- World Health Organization. (2019).** *International statistical classification of diseases and related health problems* (11th ed.). <https://icd.who.int/>
- Young, K. S. (1998). Internet addiction: The emergence of a new clinical disorder. *Cyberpsychology and Behavior*, 1(3), 237-244
- Zhang, D., You, Y., Cai, L., Zhang, W., Zhang, K. ve Wu, Y. (2024). The relationship between family communication and adolescent problematic internet use: the chain mediation effects of loneliness and depression. *Psychology Research and Behavior Management*, 4263-4280.
- Zhang, J., Zhang, Q., Xiao, B., Cao, Y., Chen, Y. ve Li, Y. (2025). Parental technoference and child problematic media use: meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e57636.
- Zhao, C., Ding, H., Du, M., Yu, Y., Chen, J. H., Wu, A. M. S. ... ve Zhang, G. (2024). The vicious cycle between loneliness and problematic smartphone use among adolescents: A random intercept cross-lagged panel model. *Journal of Youth and Adolescence*, 53(6), 1428-1440.
- Zhao, P., Bazarova, N. N., ve Valle, N. (2023). Digital parenting divides: The role of parental capital and digital parenting readiness in parental digital mediation. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 28(5), zmad032.
- Zheng, M. R., Wu, X. D., Chen, P., Si, T. L., Rao, S. Y., Zhu, H. Y. ... ve Xiang, Y. T. (2025). Prevalence of internet addiction among Chinese adolescents: A comprehensive meta-analysis of 164 epidemiological studies. *Asian journal of psychiatry*, 107, 104458.

ASMA YAPRAĞI SAPLARINDAN BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR GERİ KAZANIMI: DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ VE ULTRASON DESTEKLİ EKSTRAKSİYON YAKLAŞIMI

Sıla Betül KORKMAZ

Istanbul Health and Technology University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Chemical Engineering, Istanbul

ORCID ID: 0009-0004-2097-7959

Rabia Nur BOZKURT

Istanbul Health and Technology University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Chemical Engineering, Istanbul

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, Istanbul

ORCID ID: 0000-0003-2351-172X

Selin ŞAHİN

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, Istanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Bağcılık faaliyetleri sonucunda oluşan asma yaprağı sapları, fenolik bileşiklerin geri kazanımı açısından yeterince değerlendirilmemiş bir bitkisel yan ürün niteliğindedir. Bu çalışmada, asma yaprağı saplarından biyoaktif bileşiklerin sürdürülebilir geri kazanımı için derin ötektik çözücü (DES) ve ultrason destekli ekstraksiyonun (UAE) birlikte kullanıldığı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ön taramada Gliserol:propiyonik asit DES sistemleri 1:1, 1:2 ve 2:1 molar oranlarında karşılaştırılmış ve toplam fenolik madde içeriği (TPC) ile DPPH antioksidan kapasitesi (AA) bakımından en yüksek performansı gösteren 1:1 sistem optimizasyon için seçilmiştir. Ekstraksiyon; örnek miktarı (0,5-1,5 g), süre (15-45 dk) ve DES su içeriğinin (%20-50) bağımsız değişken olarak kullanıldığı üç faktörlü, üç seviyeli Box–Behnken tasarımı ile optimize edilmiştir. On yedi deneyde TPC 24,132–40,087 mg-GAE/g-DM, AA ise 5,055–15,776 mg-TEAC/g-DM arasında değişmiştir. Her iki yanıt için kuadratik modeller anlamlı bulunmuş ($p \leq 0.0001$) ve yüksek açıklayıcılık göstermiştir (TPC için $R^2 = 0,9736$; AA için $R^2 = 0,9822$). Çoklu yanıt optimizasyonu, 1.071 g örnek miktarı, 15 dk ekstraksiyon süresi ve %38,79 DES su içeriğini optimum koşullar olarak belirlemiş; öngörülen TPC ve AA değerleri sırasıyla 37,98 mg-GAE/g-DM ve 15,78 mg-TEAC/g-DM olmuştur (desirability = 0.932). Doğrulama deneylerinde $38,20 \pm 0,005$ mg-GAE/g-DM TPC ve $15,65 \pm 0,003$ mg-TEAC/g-DM AA elde edilmiş ve bağıl hatalar %1'in altında kalmıştır. Optimize edilmiş DES–UAE sistemi, hem su hem de %70 etanol ile gerçekleştirilen ekstraksiyonlara kıyasla daha yüksek TPC ve antioksidan kapasitesi sağlamıştır. Bulgular, DES–UAE yaklaşımının asma yaprağı saplarından biyoaktif bileşiklerin geri kazanımı ve bağcılık yan ürünlerinin katma değerli ürünlere dönüştürülmesi için etkili ve sürdürülebilir bir strateji sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Asma yaprağı sapı, derin ötektik çözücü, ultrason destekli ekstraksiyon, Box–Behnken tasarımı

SUSTAINABLE RECOVERY OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM GRAPEVINE LEAF PETIOLES: A DEEP EUTECTIC SOLVENT-BASED ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION APPROACH

ABSTRACT

Grapevine leaf petioles represent an underutilized plant by-product with potential as a source of recoverable phenolic compounds. In this study, a combined deep eutectic solvent (DES)–ultrasound-assisted extraction (UAE) strategy was developed for the sustainable recovery of bioactive compounds from grapevine leaf petioles. Glycerol:propionic acid DES systems at molar ratios of 1:1, 1:2, and 2:1 were initially screened, and the 1:1 system, which provided the highest total phenolic content (TPC) and DPPH antioxidant capacity (AA), was selected for optimization. Extraction was optimized using a three-factor, three-level Box–Behnken design with sample mass (0.5–1.5 g), extraction time (15–45 min), and DES water content (20–50%) as independent variables. Across 17 experiments, TPC ranged from 24.132 to 40.087 mg-GAE/g-DM and AA from 5.055 to 15.776 mg-TEAC/g-DM. Quadratic models were significant for both responses ($p \leq 0.0001$) and showed high goodness of fit ($R^2 = 0.9736$ for TPC and $R^2 = 0.9822$ for AA). Multiple-response optimization identified 1.071 g sample mass, 15 min extraction time, and 38.79% DES water content as the optimum conditions, with predicted TPC and AA values of 37.98 mg-GAE/g-DM and 15.78 mg-TEAC/g-DM, respectively (overall desirability = 0.932). Experimental validation yielded 38.20 ± 0.005 mg-GAE/g-DM TPC and 15.65 ± 0.003 mg-TEAC/g-DM AA, with relative errors below 1%. The optimized DES–UAE system produced higher TPC and antioxidant capacity than both water and 70% ethanol extractions. These findings support the proposed DES–UAE approach as an effective and sustainable strategy for recovering bioactive compounds from grapevine leaf petioles and valorizing viticultural side streams.

Keywords: Grapevine leaf petiole, deep eutectic solvent, ultrasound-assisted extraction, Box–Behnken design

1. INTRODUCTION

Viticulture generates substantial quantities of plant side streams that remain incompletely valorized despite their potential as sources of phenolic compounds and other value-added constituents. Circular-bioeconomy strategies increasingly aim to redirect such biomass from low-value disposal toward the recovery of functional ingredients for food, nutraceutical, cosmetic, and related applications (Aissat et al., 2026; Nirmal et al., 2025). While grape pomace and its major fractions, including seeds, skins, and stems, have been extensively investigated as sources of phenolic compounds, considerably less attention has been devoted to grapevine leaf petioles. Their valorization may therefore expand the spectrum of usable viticultural side streams and provide a promising matrix for the recovery of phenolic compounds with antioxidant potential (Karastergiou et al., 2024; Peixoto et al., 2018).

Conventional solid-liquid extraction of plant phenolics frequently relies on volatile organic solvents, prolonged processing, and/or elevated temperatures. Deep eutectic solvents (DESs) have emerged as attractive alternatives because their physicochemical and solvation properties can be tailored through the nature and molar ratio of their constituents (El Achkar et al., 2021; Perna et al., 2020). This tunability is particularly relevant to phenolic extraction, for which polarity, hydrogen-bonding capacity, viscosity, and water content jointly govern solvent-matrix interactions. Water addition is often beneficial because it lowers DES viscosity and facilitates diffusion; however, excessive dilution may alter the intermolecular organization and selectivity

of the eutectic medium. Consequently, DES composition and hydration level should be optimized for each plant matrix rather than assumed to be universally transferable (Bozkurt et al., 2026).

Ultrasound-assisted extraction (UAE) offers a complementary process-intensification strategy. Acoustic cavitation can promote disruption of plant tissues, enhance solvent penetration, and accelerate solute transport, thereby improving mass transfer under relatively mild conditions (Şahin & Şamlı, 2013; Wu et al., 2023). Combining DESs with UAE is therefore particularly attractive for green extraction, as solvent design and physical mass-transfer enhancement can be exploited simultaneously. Previous studies on grape-derived residues have demonstrated the feasibility of integrating eutectic solvents with assisted extraction and statistical optimization (Jovanović et al., 2022; Wu et al., 2023). Nevertheless, the extraction behavior of grapevine leaf petioles in DES-UAE systems has not been sufficiently characterized, particularly with respect to the simultaneous effects of solid loading, extraction time, and DES water content.

Accordingly, this study aimed to develop and optimize a DES-based UAE process for the recovery of phenolic compounds with antioxidant capacity from grapevine leaf petioles. Glycerol:propionic acid systems prepared at three molar ratios were first screened, and the best-performing formulation was subsequently optimized using a three-factor Box-Behnken design coupled with response surface methodology. Sample mass, extraction duration, and DES water content were investigated using total phenolic content (TPC) and DPPH antioxidant capacity (AA) as response variables. Model adequacy, factor interactions, response surfaces, desirability-based multi-response optimization, and experimental validation were evaluated. The optimized DES-UAE process was additionally compared with water and 70% ethanol extractions to assess its potential as a sustainable valorization strategy.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Plant material and preparation of DES systems

Grapevine leaves of Tokat origin (Türkiye) were purchased from a local public market in Istanbul, Türkiye. The petioles were manually separated from the leaf blades and used as the plant matrix for the extraction experiments. Three Glycerol:propionic acid DES formulations were prepared at molar ratios of 1:1, 1:2, and 2:1. The components were combined at the required molar ratios and stirred at 80 °C until homogeneous, transparent liquids were obtained (Sevgili et al., 2026). The prepared DES formulations were subsequently subjected to preliminary extraction screening and compared based on total phenolic content (TPC) and DPPH antioxidant capacity (AA).

2.2. Ultrasound-assisted extraction

Ultrasound-assisted extraction (UAE) was performed using an ultrasonic bath (DK SONIC DK-600D, Shenzhen, China) operating at a frequency of 40 kHz and a nominal ultrasonic power of 180 W. For each experiment, the amount of grapevine leaf petiole sample specified by the experimental design was mixed with 40 mL of extraction solvent. The solvent volume was kept constant throughout all experiments, and the extraction conditions were applied according to the Box–Behnken design described in Section 2.4. All extractions were conducted at 25 °C. Following extraction, the mixtures were filtered through a 0.45 µm membrane filter, and the resulting filtrates were stored at 4 °C until analysis. For comparison, water and 70% ethanol extractions were performed under the optimized UAE conditions.

2.3. Analytical methods

Total phenolic content (TPC) was determined using the Folin-Ciocalteu colorimetric method. Briefly, 20 µL of the extract was mixed with 380 µL of deionized water, followed by the

addition of 2000 μL of Folin-Ciocalteu reagent and 1600 μL of sodium carbonate solution. The reaction mixture was incubated in the dark for 30 min, after which the absorbance was measured at 765 nm using a UV-Vis spectrophotometer (PG Instruments T60, Leicestershire, UK). Gallic acid was used as the calibration standard, and the results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of dry matter (mg-GAE/g-DM) (Sevgili et al., 2026).

Antioxidant capacity (AA) was evaluated using the DPPH radical-scavenging assay. Briefly, 100 μL of the extract was mixed with 600 μL of 80% methanol, followed by the addition of 3000 μL of DPPH solution prepared in 80% methanol. The reaction mixture was incubated in the dark for 30 min, and the absorbance was subsequently measured at 517 nm using a UV-Vis spectrophotometer. Trolox was used as the calibration standard, and the results were expressed as milligrams of Trolox equivalent antioxidant capacity per gram of dry matter (mg-TEAC/g-DM) (Bozkurt et al., 2025).

2.4. Experimental design and statistical optimization

Extraction conditions were optimized using a three-factor, three-level Box-Behnken design. The independent variables were A: sample mass (0.5-1.5 g), B: duration (15-45 min), and C: DES water content (20-50%); the response variables were TPC and antioxidant capacity (AA). A total of 17 runs (including 5 center-point replicates) were performed (Table 1). The experimental data were fitted to a second-order (quadratic) polynomial model by response surface methodology (RSM), and the adequacy of the models was evaluated by analysis of variance (ANOVA). The optimum conditions that simultaneously maximized both responses were determined using the desirability function, and the performance of the optimized DES-UAE system was compared with extractions performed using water and 70% ethanol.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Screening of DES systems

Prior to process optimization, Glycerol:propionic acid DES systems prepared at molar ratios of 1:1, 1:2, and 2:1 were compared in terms of TPC and AA (Figure 1). The 1:1 formulation produced the highest values for both responses and was therefore selected for the subsequent Box-Behnken optimization. By contrast, deviation from the equimolar composition reduced the overall extraction performance, demonstrating that the component ratio was a critical determinant of solvent efficiency for the grapevine petiole matrix.

The superior performance of the 1:1 system can be interpreted in terms of the composition-dependent physicochemical behavior of DESs. Changes in the glycerol-to-propionic-acid ratio are expected to modify polarity, acidity, viscosity, and the hydrogen-bonding environment, thereby affecting both phenolic solubilization and mass transfer. The concurrent decrease in TPC and AA observed for the alternative ratios suggests that the equimolar formulation provided a more favorable balance between solvent affinity and transport properties. This matrix-specific response agrees with the broader DES literature, which emphasizes that extraction efficiency cannot be predicted from the identity of the individual components alone and is strongly dependent on their relative proportions (Makris & Lalas, 2020; Sevgili et al., 2026).

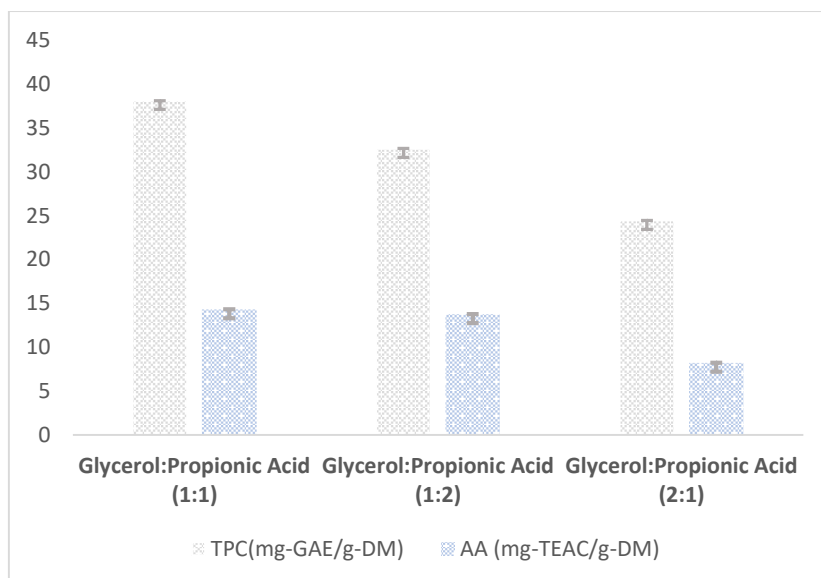


Figure 1. Comparison of the glycerol:propionic acid DES systems (1:1, 1:2, and 2:1) in terms of TPC and AA.

3.2. Experimental design and responses

The independent variable levels for the 17 runs performed according to the Box-Behnken design, together with the TPC and antioxidant capacity (AA) values obtained, are given in Table 1. TPC values ranged from 24.132 to 40.087 mg-GAE/g-DM, while AA values ranged from 5.055 to 15.776 mg-TEAC/g-DM.

The response ranges demonstrate that extraction performance was strongly dependent on the operating conditions. Importantly, the experimental condition yielding the highest TPC did not coincide with that producing the highest AA. The maximum TPC (40.087 mg-GAE/g-DM) was obtained at 0.5 g sample mass, 15 min, and 35% water, whereas the maximum AA (15.776 mg-TEAC/g-DM) occurred at 1.5 g, 15 min, and 35% water. This divergence indicates that the total concentration of Folin-reactive constituents does not necessarily determine radical-scavenging capacity. Antioxidant activity is also influenced by the qualitative composition and relative potency of the extracted compounds. Therefore, simultaneous optimization of TPC and AA was preferable to selecting process conditions on the basis of either response alone.

Table 1. Box–Behnken experimental design matrix and experimental responses (TPC and AA).

Std	Run	A: Sample mass (g)	B: Duration (min)	C: Water content (%)	TPC (mg-GAE/g-DM)	AA (mg-TEAC/g-DM)
11	1	1	15	50	37.221	14.756
13	2	1	30	35	38.118	14.345
17	3	1	30	35	39.265	13.677
6	4	1.5	30	20	24.132	12.256
15	5	1	30	35	37.686	15.123
2	6	1.5	15	35	31.216	15.776
9	7	1	15	20	34.818	13.856
1	8	0.5	15	35	40.087	6.667

Std	Run	A: Sample mass (g)	B: Duration (min)	C: Water content (%)	TPC (mg-GAE/g-DM)	AA (mg-TEAC/g-DM)
16	9	1	30	35	35.673	14.553
10	10	1	45	20	26.224	12.626
4	11	1.5	45	35	25.725	12.145
5	12	0.5	30	20	36.215	5.055
12	13	1	45	50	33.215	13.965
7	14	0.5	30	50	36.837	8.175
3	15	0.5	45	35	36.156	10.256
8	16	1.5	30	50	31.212	13.828
14	17	1	30	35	36.450	14.358

3.3. Model adequacy and analysis of variance (ANOVA)

The quadratic model was found to be statistically significant for both responses. The ANOVA results for the TPC response are presented in Table 2. The model F-value of 28.70 and p-value of 0.0001 indicate that the model is significant; A, B, C, AC, A², B², and C² were identified as significant model terms. The non-significant lack of fit (p = 0.8087) shows that the model fits the experimental data well.

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of the quadratic model for TPC (total phenolic content).

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model (significant)	365.03	9	40.56	28.70	0.0001
A: Sample mass	171.22	1	171.22	121.17	< 0.0001
B: Duration	60.62	1	60.62	42.90	0.0003
C: Water content	36.53	1	36.53	25.86	0.0014
AB	0.6084	1	0.6084	0.4306	0.5327
AC	10.43	1	10.43	7.38	0.0299
BC	5.26	1	5.26	3.72	0.0949
A ²	25.41	1	25.41	17.98	0.0038
B ²	11.97	1	11.97	8.47	0.0227
C ²	35.00	1	35.00	24.77	0.0016
Residual	9.89	7	1.41		
Lack of fit (<i>not significant</i>)	1.94	3	0.6460	0.3249	0.8087
Pure error	7.95	4	1.99		
Cor total	374.93	16			

The ANOVA results for antioxidant capacity (AA) are given in Table 3. The model F-value of 42.92 and p-value < 0.0001 indicate that the model is highly significant; A, C, AB, A², and C² were found to be significant. The non-significant lack of fit (p = 0.2458) supports the adequacy of the model.

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) of the quadratic model for AA (antioxidant capacity).

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model (significant)	151.49	9	16.83	42.92	< 0.0001
A: Sample mass	71.11	1	71.11	181.33	< 0.0001
B: Duration	0.5320	1	0.5320	1.36	0.2823
C: Water content	6.00	1	6.00	15.31	0.0058
AB	13.03	1	13.03	33.23	0.0007
AC	0.5991	1	0.5991	1.53	0.2563
BC	0.0482	1	0.0482	0.1228	0.7363
A ²	54.15	1	54.15	138.08	< 0.0001
B ²	0.6274	1	0.6274	1.60	0.2464
C ²	4.18	1	4.18	10.66	0.0138
Residual	2.75	7	0.3922		
Lack of fit (<i>not significant</i>)	1.67	3	0.5574	2.08	0.2458
Pure error	1.07	4	0.2683		
Cor total	154.23	16			

The fit statistics of the models are summarized in Table 4. High coefficients of determination were obtained for both models ($R^2 = 0.9736$ and 0.9822); the agreement between the adjusted R^2 and predicted R^2 values (difference < 0.2) confirms the predictive power of the models. The adequate precision (Adeq Precision) values, which express the signal-to-noise ratio, being well above 4 (18.17 and 22.20) indicate that the models can be used reliably to navigate the design space.

Collectively, the statistical indicators demonstrate that the selected quadratic models adequately represented the experimental domain. The coefficients of determination were high for both TPC ($R^2 = 0.9736$) and AA ($R^2 = 0.9822$), while the adjusted and predicted R^2 values remained in reasonable agreement. Adeq Precision values of 18.17 and 22.20 were substantially above the desirable threshold of 4, indicating adequate signal relative to experimental noise. In addition, the coefficients of variation were low (3.48% for TPC and 5.04% for AA), supporting satisfactory experimental precision. Together with the non-significant lack-of-fit tests, these results justified use of the models for interpretation and numerical optimization within the investigated design space.

Table 4. Fit statistics of the TPC and AA models.

Statistic	TPC (mg-GAE/g-DM)	AA (mg-TEAC/g-DM)
Std. Dev.	1.19	0.6263
Mean	34.13	12.44
C.V. %	3.48	5.04
R ²	0.9736	0.9822
R ² (adjusted)	0.9397	0.9593
R ² (predicted)	0.8842	0.8156

Statistic	TPC (mg-GAE/g-DM)	AA (mg-TEAC/g-DM)
Adeq Precision	18.1681	22.1975

3.4. Regression models

The second-order regression equations obtained for TPC and antioxidant capacity (AA) in terms of coded factors are given in Equation (1) and Equation (2), respectively. The sign of each coefficient indicates the direction of the corresponding factor effect, while its absolute value indicates the relative magnitude.

$$\text{TPC} = 37.44 - 4.63 A - 2.75 B + 2.14 C - 0.3900 AB + 1.61 AC + 1.15 BC - 2.46 A^2 - 1.69 B^2 - 2.88 C^2 \quad (1)$$

$$\text{AA} = 14.41 + 2.98 A - 0.2579 B + 0.8664 C - 1.81 AB - 0.3870 AC + 0.1098 BC - 3.59 A^2 + 0.3860 B^2 - 0.9965 C^2 \quad (2)$$

For TPC, sample mass (A) is the negative term with the highest absolute coefficient, indicating that phenolic recovery per unit dry matter decreases with increasing sample mass; the linear effect of water content (C) is positive. For AA, the strong positive linear (+2.98) and pronounced negative quadratic (−3.59) effects of sample mass (A) reveal an optimum at intermediate sample mass, and the A×B interaction is significant. The agreement between the predicted and experimental values, together with the statistical indicators, confirmed the adequacy and predictive capability of the developed models within the investigated design space.

For TPC, sample mass exhibited the largest negative linear coefficient, indicating a decrease in phenolic recovery per unit dry matter as solid loading increased. At a fixed solvent volume, increasing the amount of plant material decreases solvent availability per unit mass and may reduce the concentration gradient driving solute transfer, thereby limiting mass transfer and phenolic recovery (Cabrera et al., 2024; Othman et al., 2026). Water content exerted a positive linear effect, consistent with previous reports showing that moderate hydration reduces DES viscosity and facilitates diffusional mass transfer. Nevertheless, the significant negative quadratic term for water content indicates that this beneficial effect was not unlimited. Excessive hydration can disrupt the hydrogen-bonding network of DESs, modify solvent polarity and weaken specific solvent–solute interactions, ultimately reducing extraction selectivity and efficiency (Rente et al., 2021).

The AA model showed a different response pattern. Sample mass had a strong positive linear effect together with a pronounced negative quadratic effect, revealing a distinct optimum rather than a monotonic increase. The significant A×B interaction further indicates that the influence of sample loading depended on extraction duration. These response-specific effects reinforce the distinction between total phenolic recovery and antioxidant functionality and provide a mechanistic rationale for multi-response optimization. More broadly, they demonstrate that the extraction process was governed by interacting solvent-matrix and mass-transfer phenomena rather than by a single dominant variable.

3.5. Response surface plots

The combined effects of the independent variables on TPC are shown by three-dimensional response surface plots in Figures 2–4, and their effects on antioxidant capacity (AA) in Figures 5–7. The curved surfaces visually reveal the second-order relationships and interactions among the factors.

The three-dimensional response surfaces (Figures 2-7) further illustrate the nonlinear behavior identified by ANOVA. For TPC, lower sample loading generally favored recovery, while moderate-to-high water contents improved extraction within the studied domain. Increasing extraction duration did not produce a continuous increase in TPC, confirming that longer sonication was not intrinsically advantageous. For AA, sample mass exerted a more pronounced influence, and its interaction with extraction duration generated clear curvature in the response surface. These patterns demonstrate why a one-factor-at-a-time strategy would have been inadequate for defining the optimum conditions.

From a process perspective, the absence of a consistent benefit from prolonged sonication is noteworthy. UAE enhances mass transfer through cavitation-induced disruption and improved solvent penetration, and efficient recovery can therefore be achieved without necessarily increasing treatment severity (Xu et al., 2025). In the present study, the optimum extraction duration was located at the lower boundary of the investigated range, suggesting that the readily extractable antioxidant constituents were recovered rapidly under the selected DES-UAE conditions. Because the experiments were conducted at 25 °C, the optimized process combined short treatment time with mild temperature conditions, an operational profile that is favorable for further development of resource-efficient extraction strategies.

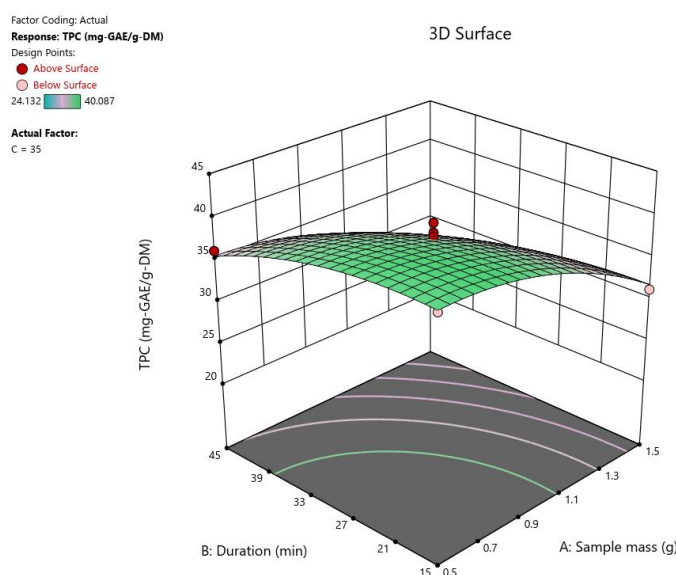


Figure 2. Response surface plot showing the effect of sample mass (A) and duration (B) on TPC (C: water content = 35%).

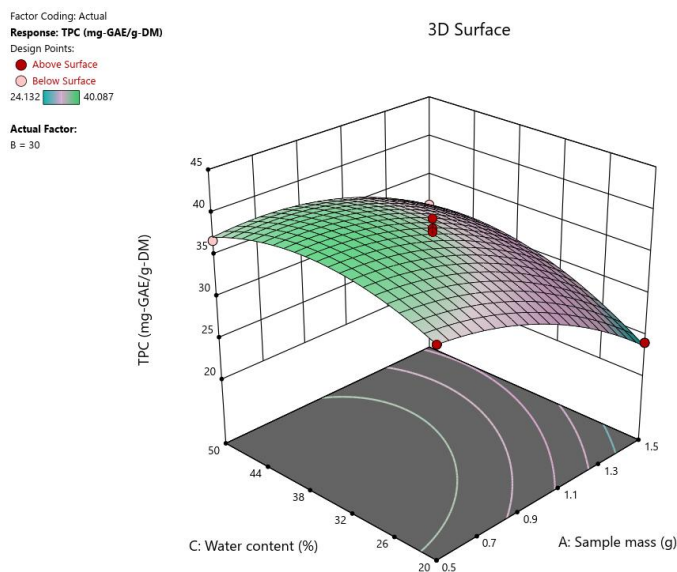


Figure 3. Response surface plot showing the effect of sample mass (A) and water content (C) on TPC (B: duration = 30 min).

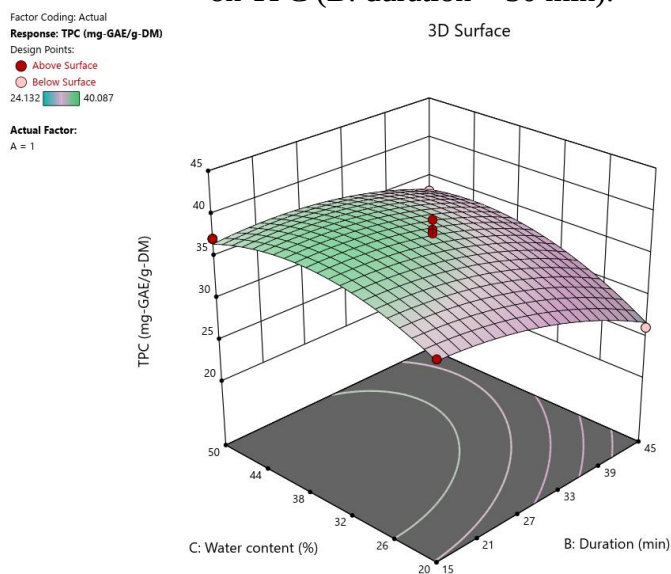


Figure 4. Response surface plot showing the effect of duration (B) and water content (C) on TPC (A: sample mass = 1 g).

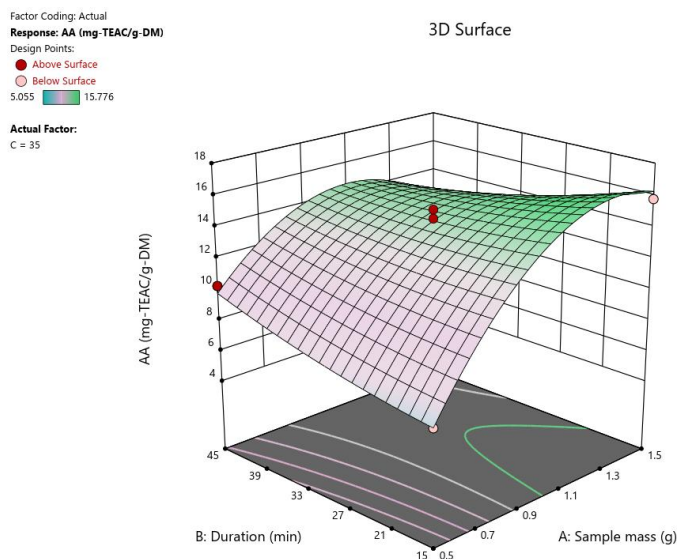


Figure 5. Response surface plot showing the effect of sample mass (A) and duration (B) on AA (C: water content = 35%).

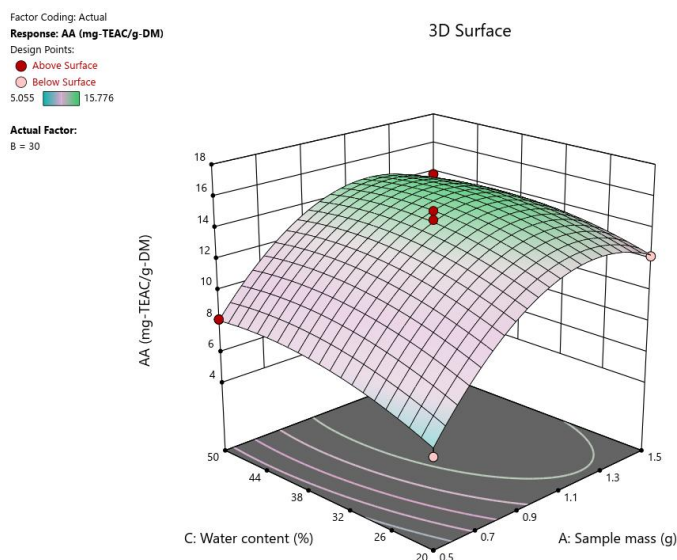


Figure 6. Response surface plot showing the effect of sample mass (A) and water content (C) on AA (B: duration = 30 min).

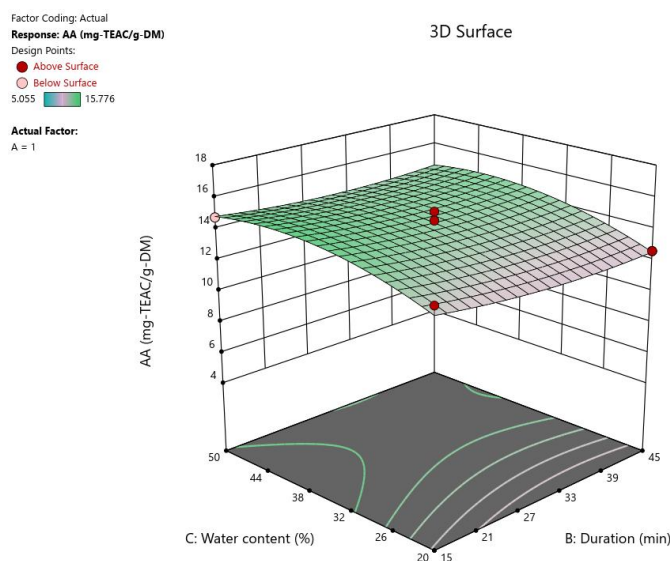


Figure 7. Response surface plot showing the effect of duration (B) and water content (C) on AA (A: sample mass = 1 g).

3.6. Optimization and model validation

The constraints applied in the optimization and the optimum solution obtained using the desirability function are summarized in Table 5, while the desirability ramps for each variable and response are shown in Figure 8. Desirability-based multi-response optimization identified 1.071 g sample mass, 15 min extraction duration, and 38.79% DES water content as the optimum conditions for the simultaneous maximization of TPC and AA. Under these conditions, the predicted TPC and AA values were 37.98 mg-GAE/g-DM and 15.78 mg-TEAC/g-DM, respectively, with an overall desirability of 0.932.

The intermediate optimum water content is consistent with the dual role of water in DES systems: moderate hydration can improve solvent fluidity and facilitate mass transfer, whereas excessive dilution may alter the solvent environment and reduce selective solubilization (Bozkurt et al., 2025). Notably, the optimum extraction duration corresponded to the lowest level investigated (15 min). Thus, high response values were achieved at 25 °C without prolonged sonication, supporting the process-intensification potential of the proposed DES-UAE approach.

Table 5. Constraints and optimum solution of the multiple-response optimization.

Variable / Response	Goal	Lower limit	Upper limit	Importance	Optimum value
A: Sample mass (g)	is in range	0.5	1.5	3	1.071
B: Duration (min)	is in range	15	45	3	15
C: Water content (%)	is in range	20	50	3	38.79
TPC (mg-GAE/g-DM)	maximize	24.132	40.087	3	37.98
AA (mg-TEAC/g-DM)	maximize	5.055	15.776	3	15.78
Overall desirability					0.932

To validate the developed models, extraction was carried out under the optimum conditions and the experimental TPC and AA values were compared with those predicted by the models (Table 6). The low relative errors (0.58% and 0.83% for TPC and AA, respectively), which are well below 5%, confirm the adequacy and reliability of the developed models.

Experimental validation confirmed the reliability of the numerical optimum. The measured TPC (38.20 ± 0.005 mg-GAE/g-DM) and AA (15.65 ± 0.003 mg-TEAC/g-DM) differed from the predicted values by only 0.58% and 0.83%, respectively. Such close agreement demonstrates that the fitted models were capable of predicting extraction performance within the investigated factor space. Overall, the findings are consistent with increasing evidence that DES-assisted extraction can provide an effective route for recovering phenolic-rich fractions from underutilized agri-food biomass.

Table 6. Validation of the models at the optimum extraction conditions.

Response	Predicted	Experimental	Error (%)
TPC (mg-GAE/g-DM)	37.98	38.20 ± 0.005	0.58
AA (mg-TEAC/g-DM)	15.78	15.65 ± 0.003	0.83

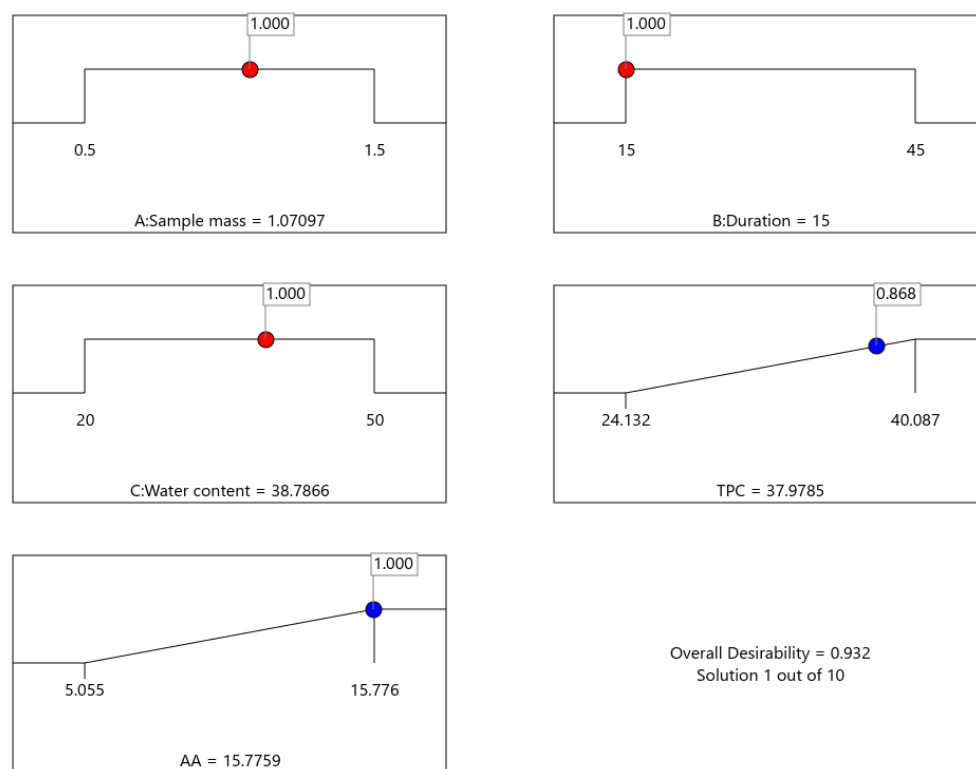


Figure 8. Desirability ramps for the variables and responses at the optimum extraction conditions.

3.7. Comparison with conventional solvents

The extraction performance of the optimized DES-UAE system was further compared with that of water and 70% ethanol to evaluate its effectiveness relative to conventional extraction media. Water exhibited the lowest extraction performance, yielding a TPC of 18.875 ± 0.007 mg-GAE/g-DM and an antioxidant activity of 5.865 ± 0.005 mg-TEAC/g-DM. Extraction with 70%

ethanol considerably improved both responses, resulting in 32.568 ± 0.003 mg-GAE/g-DM for TPC and 13.660 ± 0.002 mg-TEAC/g-DM for antioxidant activity. Nevertheless, the optimized Glycerol:propionic acid (1:1) DES system under the optimum UAE conditions provided the highest values, reaching 38.20 ± 0.005 mg-GAE/g-DM and 15.65 ± 0.003 mg-TEAC/g-DM, respectively. Compared with water, the optimized DES increased TPC and antioxidant activity by approximately 102% and 167%, respectively. Even when compared with 70% ethanol, which itself exhibited relatively high extraction efficiency, the optimized DES resulted in approximately 17.3% higher TPC and 14.6% higher antioxidant activity.

The superior performance of the optimized DES can be associated with the combined effects of solvent composition, hydrogen-bonding interactions, and the water-adjusted physicochemical environment of the extraction medium. In particular, the incorporation of an appropriate amount of water into the DES can reduce viscosity and facilitate solvent penetration, diffusion, and mass transfer of phenolic compounds. Ultrasound-induced cavitation may further enhance these effects by promoting disruption of the plant matrix and accelerating the transport of soluble constituents into the extraction medium (Gao et al., 2022). Importantly, the higher TPC observed for the optimized DES was accompanied by a corresponding enhancement in DPPH antioxidant capacity, suggesting that the improved extraction performance was also reflected in the antioxidant potential of the recovered fraction. Overall, these findings demonstrate that, under the investigated conditions, the optimized DES-UAE system provided a more effective extraction medium for grapevine leaf petioles than either water or 70% ethanol.

4. CONCLUSIONS

This study demonstrates the feasibility of combining a Glycerol:propionic acid DES with ultrasound-assisted extraction for the valorization of grapevine leaf petioles. Among the tested solvent compositions, the 1:1 molar ratio provided the most favorable overall extraction performance. Box-Behnken modeling revealed nonlinear and response-specific effects of sample mass, extraction duration, and DES water content, with robust quadratic models obtained for both TPC ($R^2 = 0.9736$) and AA ($R^2 = 0.9822$). Multi-response optimization identified 1.071 g sample mass, 15 min extraction time, and 38.79% DES water content as the optimum conditions, with an overall desirability of 0.932. Experimental validation yielded 38.20 ± 0.005 mg-GAE/g-DM TPC and 15.65 ± 0.003 mg-TEAC/g-DM AA, corresponding to prediction errors below 1%. The optimized DES-UAE system also produced higher TPC and antioxidant capacity than both water and 70% ethanol extractions, confirming its superior performance among the extraction media investigated. Together with the mild operating temperature of 25 °C and the short optimum extraction time of 15 min, these findings support Glycerol:propionic acid (1:1)-based UAE as a promising strategy for the efficient and sustainable valorization of grapevine leaf petioles. Future studies should characterize individual phenolic constituents by chromatographic analysis, assess DES recovery and reuse, and examine scale-up performance to establish the broader technological applicability of the process.

REFERENCES

- Aissat, A. K., Collange, E., Draye, M., & Chatel, G. (2026). Grape canes as a multifunctional agricultural by-product: A comprehensive review from polyphenols to energy valorization in a circular economy framework. *Bioresource Technology Reports*, 34, 102727. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2026.102727>
- Bozkurt, R. N., Falsafi, S. R., & Şahin, S. (2025). Tailoring Natural Solvents: Deep Eutectic Approach for Recovering Bioactives From *Prunus spinosa* L. *Chemistry & Biodiversity*, e01858.
- Bozkurt, R. N., Kurtulbaş, E., Toprakçı, İ., & Topraksever, N. (2026). Elucidating Deep Eutectic Solvent-Mediated Recovery of Phenolic Compounds From Cube Pepper (*Piper cubeba* Lf) and Their Antioxidant Potential. *Natural Product Communications*, 21(7), 1934578X261468522.
- Cabrera, L., Xavier, L., & Zecchi, B. (2024). Extraction of phenolic compounds with antioxidant activity from olive pomace using natural deep eutectic solvents: modelling and optimization by response surface methodology. *Discover Food*, 4(1), 29. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00100-z>
- El Achkar, T., Greige-Gerges, H., & Fourmentin, S. (2021). Basics and properties of deep eutectic solvents: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 3397–3408.
- Gao, H., Wang, Y., Guo, Z., Liu, Y., Wu, Q., & Xiao, J. (2022). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolics from *Asparagopsis taxiformis* with deep eutectic solvent and their characterization by ultra-high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Frontiers in Nutrition*, Volume 9-2022. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1036436>
- Jovanović, M. S., Krgović, N., Živković, J., Stević, T., Zdunić, G., Bigović, D., & Šavikin, K. (2022). Ultrasound-Assisted Natural Deep Eutectic Solvents Extraction of Bilberry Anthocyanins: Optimization, Bioactivities, and Storage Stability. *Plants*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/plants11202680>
- Karastergiou, A., Gancel, A.-L., Jourdes, M., & Teissedre, P.-L. (2024). Valorization of grape pomace: A review of phenolic composition, bioactivity, and therapeutic potential. *Antioxidants*, 13(9), 1131.
- Makris, D. P., & Lalas, S. (2020). Glycerol and glycerol-based deep eutectic mixtures as emerging green solvents for polyphenol extraction: The evidence so far. *Molecules*, 25(24), 5842.
- Nirmal, N., Mahale, K. R., Rathod, N. B., Siddiqui, S. A., & Dhar, B. K. (2025). Winery waste: A sustainable approach for bioactive compound extraction and various industrial applications. *Process Safety and Environmental Protection*, 193, 760–771. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2024.11.106>
- Othman, M. M., Azakir, B., Khazaal, S., Rabie, M., Salem Sokhn, E., Maroun, R. G., Debs, E., Louka, N., & El Darra, N. (2026). Optimized extraction of polyphenols from rooibos tea (*Aspalathus linearis*) and their biological activities. *Frontiers in Nutrition*, Volume 13-2026. <https://doi.org/10.3389/fnut.2026.1778749>
- Peixoto, C. M., Dias, M. I., Alves, M. J., Calhelha, R. C., Barros, L., Pinho, S. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Grape pomace as a source of phenolic compounds and diverse bioactive properties. *Food Chemistry*, 253, 132–138. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.01.163>

- Perna, F. M., Vitale, P., & Capriati, V. (2020). Deep eutectic solvents and their applications as green solvents. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 27–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.09.004>
- Rente, D., Paiva, A., & Duarte, A. R. (2021). The Role of Hydrogen Bond Donor on the Extraction of Phenolic Compounds from Natural Matrices Using Deep Eutectic Systems. *Molecules*, 26(8). <https://doi.org/10.3390/molecules26082336>
- Şahin, S., & Şamlı, R. (2013). Optimization of olive leaf extract obtained by ultrasound-assisted extraction with response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 595–602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.07.029>
- Sevgili, S. Ş., Bozkurt, R. N., Kurtulbaş, E., & Toprakçı, İ. (2026). Designing a Sustainable Extraction Platform Using Deep Eutectic Solvents: Valorization of Sidr Leaves Into Bioactive-Rich Fractions. *Natural Product Communications*, 21(7), 1934578X261467196.
- Wu, D.-T., Deng, W., Li, J., Geng, J.-L., Hu, Y.-C., Zou, L., Liu, Y., Liu, H.-Y., & Gan, R.-Y. (2023). Ultrasound-Assisted Deep Eutectic Solvent Extraction of Phenolic Compounds from Thinned Young Kiwifruits and Their Beneficial Effects. *Antioxidants*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/antiox12071475>
- Xu, R., Chaudhary, K., Altemimi, A. B., Khalid, S., Ansar, S., Abid, N., Abdi, G., & Aadil, R. M. (2025). Ultrasound-assisted extraction with deep eutectic solvents for valorization of agro-food waste: A sustainable and eco-friendly approach. *Ultrasonics Sonochemistry*, 120, 107500. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2025.107500>

**BETAİN BAZLI DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ İLE MORINGA OLEIFERA
YAPRAKLARINDAN FENOLİK BİLEŞİKLERİN ULTRASONİK DESTEKLİ
EKSTRAKSİYONU: TARAMA VE YANIT YÜZEYİ OPTİMİZASYONU**

Assoc. Prof. Dr. Ebru KURTULBAŞ ŞAHİN

İstanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-2241-2562

Asst. Prof. Dr. İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

İstanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320
Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514.

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

İstanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Derin ötektik çözücüler (DES), bitkilerden biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu için geleneksel organik çözücülere yeşil alternatifler olarak yaygın olarak incelenmektedir. Bu çalışmada, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilir bir hidrojen bağı alıcısı olan betaine dayalı on üç aday DES kombinasyonu, dört kimyasal sınıftan farklı hidrojen bağı vericileriyle (polioller, şekerler, karboksilik asitler ve üre) eşleştirilmiştir. Bu kombinasyonlardan yedisi, 298,15 K'de pH, yoğunluk ve viskozite açısından karakterize edilmiştir. *Moringa oleifera* yapraklarından fenolik bileşiklerin ultrason destekli ekstraksiyonu (UAE) için betain:etilen glikol bazlı bir DES seçilmiştir.

Üç bağımsız parametreyi (ultrason genliği (%10-30), su içeriği (%30-70 v/v) ve ekstraksiyon süresi (10-20 dk)) optimize etmek için Box-Behnken yanıt yüzey tasarımı kullanılmıştır. Toplam fenolik içerik (TPC), toplam flavonoid içerik (TFC) ve antioksidan aktivite (AA) yanıt değişkenleri olarak kullanılmıştır. Varyans analizi, TPC ($p = 0,0002$) ve TFC ve AA ($p = 0,0042$) için istatistiksel olarak anlamlı bir ikinci dereceden model göstermiştir. Uyumsuzluk terimleri anlamlı bulunmamıştır, bu da yeterli bir model uyumunu desteklemektedir. Genlik değerinin, hem TPC hem de TFC üzerinde en güçlü doğrusal etkiye sahip olduğu görülmüştür. Genlik ve su içeriği için ikinci dereceden terimler de oldukça anlamlı bulunmuştur, bu da basit bir doğrusal eğilimden ziyade yanıt yüzeylerinde güçlü bir eğriliğe işaret etmektedir.

Deneyisel çalışmalar boyunca TPC değerleri yaklaşık 23 ila 34 mg GAE/g kuru yaprak arasında değişmiştir. En yüksek fenolik geri kazanım, tasarımın merkez noktasına yakın bir yerde meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, betain bazlı DES'in UAE ile birleştirilmesinin, *Moringa oleifera* yapraklarından fenolik ve flavonoid açısından zengin ekstraktlar için uygulanabilir bir yeşil ekstraksiyon yolu olduğunu ve takip edecek doğrulama çalışmaları için optimize edilmiş bir deneysel temel sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Betain, derin ötektik çözücüler, ultrason destekli ekstraksiyon, *Moringa oleifera*, fenolik bileşikler.

BETAINE-BASED DEEP EUTECTIC SOLVENT FOR ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM *MORINGA OLEIFERA* LEAVES: SCREENING AND RESPONSE SURFACE OPTIMIZATION

ABSTRACT

Deep eutectic solvents (DES) are widely studied as green alternatives to conventional organic solvents for extracting bioactive compounds from plants. In this study, thirteen candidate DES combinations based on betaine, a natural and biodegradable hydrogen bond acceptor, were paired with different hydrogen bond donors from four chemical classes: polyols, sugars, carboxylic acids, and urea. Seven of these combinations were characterized for pH, density, and viscosity at 298.15 K. A betaine:ethylene glycol-based DES was selected for the ultrasound-assisted extraction (UAE) of phenolic compounds from *Moringa oleifera* leaves.

A Box-Behnken response surface design was used to optimize three process parameters such as ultrasound amplitude (10-30%), water content (30-70% v/v), and extraction time (10-20 min). Total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activity (AA) served as response variables. Analysis of variance showed a statistically significant quadratic model for TPC ($p = 0.0002$) and for TFC and AA ($p = 0.0042$). The lack-of-fit terms were not significant, which supports an adequate model fit. Amplitude had the strongest linear effect on both TPC and TFC. The quadratic terms for amplitude and water content were also highly significant, which points to strong curvature in the response surfaces rather than a simple linear trend.

TPC values across the experimental runs ranged from about 23 to 34 mg GAE/g dried leaf. The highest phenolic recovery occurred near the center point of the design. These results suggest that betaine-based DES combined with UAE is a workable green extraction route for phenolic- and flavonoid-rich extracts from *Moringa oleifera* leaves, and they provide an optimized experimental basis for the verification studies that will follow.

Keywords: Betaine, deep eutectic solvents, ultrasound-assisted extraction, *Moringa oleifera*, phenolic compounds.

1. Introduction

Phenolic compounds, encompassing flavonoids, phenolic acids, and related secondary metabolites, are among the important bioactives in the food and nutraceutical fields due to their antioxidant properties and health-promoting potential. Structure-activity relationships determine radical scavenging capacity, metal chelation ability, and modulation of inflammatory pathways, and these properties together contribute to disease prevention and health maintenance (Divya et al., 2024; Leone et al., 2015). Efficient recovery of phenolic compounds from plant matrices is important for revealing nutritional value, ensuring product quality, and reliable standardization in functional food and nutraceutical formulations (Auwalu et al., 2019; Divya et al., 2024; Mushtaq et al., 2018).

Moringa oleifera (MO) leaves are a rich source of phenolic and flavonoid compounds with proven antioxidant potential. Extensive characterization studies have identified a diverse phenolic profile in MO leaves, including phenolic acids and flavonoids, which has been correlated with antioxidant activity reported in different studies and harvest conditions (Auwalu et al., 2019; Divya et al., 2024; Leone et al., 2015). These characteristics make MO leaves a promising candidate for value-added ingredients in functional foods and health products,

highlighting the need for environmentally friendly extraction approaches that preserve bioactivity (Divya et al., 2024; Leone et al., 2015; Mushtaq et al., 2018).

Traditional extraction of plant bioactives often utilizes organic solvents such as methanol, ethanol, acetone, or hexane. While these methods are effective, they have limitations in terms of solvent toxicity, environmental impact, and solvent disposal. Current comparative studies show that the balances between solvent polarity, extraction yield, and bioactive stability constrain process scalability and safety in food applications (Issa et al., 2022). Therefore, there is increasing interest in environmentally friendly solvent systems and process intensification strategies that can deliver high phenolic recovery without compromising product quality or safety.

Deep eutectic solvents (DES) offer tunable and low-volatility environments for natural product extraction. DES are formed by mixing hydrogen bond acceptor and donor components, yielding a single melting point significantly lower than the individual melting points of the components; this allows for the design of customizable solvent environments for targeted phytochemicals. Reasons for choosing DES include their simple preparation, broad compatibility with natural and biocompatible components, and potential to reduce toxic solvent load (Hansen et al., 2021). Betaine-based DES, where betaine acts as a hydrogen bond acceptor, are particularly noteworthy due to their biocompatibility and suitability for polyphenol extraction. Betaine's ionic structure and hydrogen bonding capacity support solvent designs that can improve the solubility and stability of phenolic compounds (Nowacki et al., 2025).

DES-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction (UAE) are two complementary approaches for plant bioactives. DESs increase solubility and selectivity for phenolic compounds, while UAEs accelerate mass transfer via cavitation, reducing extraction time and energy input, and generally increasing yield compared to conventional methods (Georgantzi et al., 2017). Combining DES and UAE has been shown to increase the extraction yield of phenolics and flavonoids from different plant matrices, offering a suitable pathway for the rapid and environmentally friendly recovery of MO leaf bioactives. Response surface methodology (RSM) has been found effective in optimizing multiparameter UAE processes, particularly by revealing nonlinear response surfaces and interaction effects between variables such as Box-Behnken design, solvent composition, extraction time, and energy input (Şahin et al., 2025).

Despite the increasing number of studies on DES-based extraction and UAE, the systematic screening of betaine-based DES formulations and the subsequent optimization of UAE parameters for phenolic extraction from *Moringa oleifera* leaves has not been sufficiently investigated. To address this gap, the present study performed a structured screening of betaine-based DES formulations paired with different hydrogen bond donors, selected a suitable betaine-based DES for MO leaf phenolics, and applied optimization of UAE parameters (amplitude, water content, and extraction time) based on the Box-Behnken design. The study established a multivariate basis for process understanding and potential scaling-up studies using three key responses: total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activity (AA).

The aim of this study is to develop a practical and environmentally friendly extraction route that enables the efficient recovery of phenolic and flavonoid-rich MO leaf extracts by combining betaine-based DES with UAE. This approach aims to present findings for the sustainable extraction of MO leaf bioactives by combining solvent design, process

condensation, and statistical optimization, and to contribute to the wider applicability of DES-UAE strategies in green food chemistry and nutraceutical engineering.

2. Materials and Methods

2.1. Chemicals and samples

Dried MO leaves were purchased from a corporate local market and stored in a dry and cool place until use. Betaine ($\geq 99\%$), malic acid ($\geq 99\%$), malonic acid (98 %), citric acid ($\geq 99.5\%$), D-glucose ($\geq 99\%$), D-fructose ($\geq 99.5\%$) and urea ($\geq 99.5\%$) were supplied from Merck (Darmstadt, Germany). Folin-Ciocalteu reagent, sodium carbonate ($\geq 99\%$), (+)-catechin (98 %), hydrochloric acid (37 %), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), levulinic acid (98 %), glycerol ($\geq 99\%$), ethylene glycol ($\geq 99.8\%$), 1,2-butanediol (98 %), 1,3-butanediol ($\geq 99.5\%$), 1,4-butanediol ($\geq 99\%$), 2,3-butanediol (98 %), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (trolox) ($\geq 97\%$) and gallic acid monohydrate ($\geq 98\%$), were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA), while ethanol ($\geq 99.8\%$), methanol ($\geq 99.9\%$), aluminium chloride (98 %), sodium nitrite (99 %) and potassium persulfate (99 %) were obtained by Merck (Darmstadt, Germany).

2.2. Deep eutectic solvent preparation

DES samples were prepared using a heat and stirring method, an economical and environmentally friendly approach. After each component was precisely weighed, mixtures of hydrogen bond acceptor (HBA) and hydrogen bond donor (HBD) were stirred in a heated magnetic stirrer (MSH-20A, Daihan Scientific, Korea) at a temperature range of 60-80°C, gradually increasing the temperature until a homogeneous and clear liquid was obtained; this gradual temperature increase was applied to prevent the degradation of the components. The mixing process was carried out in a beaker with a lid to prevent evaporation. The HBA and HBD pairs used in the experiment and their molar ratios are given in Table 1.

Table 1. List of DESs initially tested for extraction.

No	Base Material	Salt	HBD	Salt: HBD (mol: mol)
1	Polyols	Betaine	1,2-Butanediol	1:2
2			1,3-Butanediol	1:4
3			2,3-Butanediol	1:4
4			1,4-Butanediol	1:4
5			Ethylene glycol	1:4
6	Sugars		Glycerol	1:4
7			D-Glucose	1:1
8			D-Fructose	1:1
9	Carboxylic Acids		Malic Acid	2:1
10			Malonic Acid	2:1
11			Levulinic Acid	1:2
12	Amines		Citric Acid	1:1
13			Urea	1:2

Abbreviations: DES, deep eutectic liquids; HBA, hydrogen bond acceptor.

Each of the 13 prepared DES samples was transferred to capped glass vials after cooling to room temperature and stored until further analysis. The pH, density, and viscosity values of the obtained DESs were determined using a pH meter (Metler Toledo, S220-K Seven Compact,

Schwerzenbach, Switzerland), a density meter (Anton Paar 4500, Graz, Austria), and a viscometer (Anton Paar Rheolab Qc., Graz, Austria), respectively.

2.3. Extraction procedure

Ultrasonic-assisted extraction studies were carried out using an ultrasonicator with a homogenizer probe (Bandelin Sonopuls Mini 20, Bandelin Electronic, Berlin, Germany). In the predetermination stage of deep eutectic solvents, 0.1 g of *Moringa oleifera* leaf was placed in a 15 mL tube together with 10 mL of DES containing 50% water. Extraction was carried out at 20% amplitude for 15 minutes. In addition, pulsed mode (3 sec on/7 sec off) was preferred instead of continuous operation mode. The reason for preferring this approach in the extraction of natural compounds is that the overheating and high energy consumption caused by long-term ultrasonic application can be reduced by using pulsed mode (Rashid et al., 2023).

2.4. Determination of Bioactive Content and Antioxidant Activity

Total phenolic content (TPC) was determined by the Folin-Ciocalteu method (A Malik & Bradford, 2005). The method is based on measuring the color change resulting from the reduction of the Folin-Ciocalteu reagent by phenolic compounds in the presence of sodium carbonate. For this purpose, pure water, followed by Folin-Ciocalteu reagent (10%, v/v) and sodium carbonate (7.5%, w/v) were added to 20 μ L of extract. After the mixtures were left to stand for 30 minutes, absorbance values were recorded at 765 nm in a UV spectrophotometer (PG Instruments, T60/Leicestershire, England). The calibration curve was created using pure gallic acid prepared with appropriate solvents. Results were expressed as milligram gallic acid equivalent per dry leaf (mg-GAE/g-DL).

For the determination of total flavonoid content (TFC), a modified version of the method reported by Sakanaka et al. was used (Sakanaka et al., 2005). Samples were first diluted with distilled water, then NaNO₂ solution (5%, w/v) was added. Absorbance was read UV spectrophotometrically at 510 nm against a blank. The calibration curve was constructed using catechin (15-250 μ g/mL) as the standard solution, and the total flavonoid content was given as (+)-catechin equivalent (mg-CE/g-DL) per gram of dry leaf.

Antioxidant activity was evaluated by the DPPH radical scavenging method following the same technique as in our previous studies (Kurtulbaş et al., 2020). For each probe, dilute DPPH free radical (600 μ M) prepared in 80% methanol solution was added to bring the final concentration to 100 μ M. After thoroughly mixing the mixtures for 30 minutes in the dark at 25°C, absorbance was measured at 517 nm against a DPPH-free blank. DPPH inhibition was expressed as antioxidant activity in milligrams of Trolox equivalent per dry leaf (mg TEAC/g-DL).

2.5. Optimization with RSM using BBD

In the optimization of extraction conditions, three factors; amplitude (X_1), DES water content (X_2), and ultrasound duration (X_3) were evaluated using Box-Behnken design (BBD) within the framework of response surface method (RSM). Factor and level values for the experimental design are presented in Table 2. TPC, TFC, AA, and p-coumaric acid yield of the extract were taken as response variables; 3D surface plots were created using Design-Expert software. The effects of process parameters on bioactive extraction and the suitability of the model were evaluated using analysis of variance (ANOVA) via the same software (Design-Expert); in this context, F values, P values, lack of fit values, and coefficient of determination were examined.

Table 2. Operation process parameters with levels in Box-Behnken-RSM

Independent Parameters		Level		
		Low	Medium	High
X ₁	Amplitude (%)	10	20	30
X ₂	Water Content (% v/v)	30	50	70
X ₃	Time (min)	10	15	20

3. Results and discussion

3.1. Screening of betaine-based deep eutectic solvents

Screening of the betaine-based DES system was carried out on 13 HBD candidates. However, extraction could not be achieved with all prepared DES systems. Six compounds in the polyol group (1,2-butanediol, 1,3-butanediol, 2,3-butanediol, 1,4-butanediol, ethylene glycol, glycerol) and a single carboxylic acid (levulinic acid) were able to form a homogeneous, liquid, and extractable DES with betaine. In contrast, sugar-based candidates (D-glucose, D-fructose), malic and malonic acids, citric acid, and urea did not yield a stable liquid phase when mixed with betaine; the mixtures either solidified or showed phase separation, and extraction data could not be obtained for these seven combinations.

Among the seven combinations suitable for extraction, the highest yield was obtained with betaine:ethylene glycol (1:4, mol:mol) DES (TPC 27.93 mg-GAE/g-DL, TFC 19.73 mg-CE/g-DL, DPPH 49.48 mg-TEAC/g-DL); these values were higher than all of the other six combinations screened. The lowest performance was observed in 1,4-butanediol-based DES (DPPH 6.10 mg-TEAC/g-DL). In our previous study, this hydrogen bonding compound (HBD) was precisely the compound that gave the best result in the ChCl-based system. This reversal shows that betaine and ChCl form a different hydrogen bonding environment and polarity profile even with the same HBD, thus indicating that the selection of the "best HBD" is specific to HBA.

Physicochemical measurements also provided data supporting this picture (Table 3). Betaine: 1,2-butanediol, 1,3-butanediol, 2,3-butanediol, and 1,4-butanediol DES were near neutral or slightly basic, with pH values ranging from 6.67 to 8.30, and their viscosities were quite low, at 0.023-0.025 Pa·s. Ethylene glycol-based DES, although slightly more viscous than these four butanediol derivatives with a pH of 7.61 and a viscosity of 0.040 Pa·s, outperformed all of them in extraction efficiency. This finding reveals that the "low viscosity = high efficiency" relationship proposed in the ChCl-based system is not entirely valid in the betaine system; butanediol derivatives with lower viscosity exhibited weaker extraction performance than ethylene glycol. This can be explained by the fact that ethylene glycol has a higher hydroxyl density per molecule, thus offering stronger hydrogen bond donation in response to a unit increase in viscosity. In contrast, in glycerol (viscosity 0.632 Pa·s) and levulinic acid (viscosity 1.370 Pa·s) based DESs, high viscosity was found to restrict mass transfer, resulting in decreased efficiency; therefore, the viscosity effect is not linear but can be interpreted as a limiting factor that becomes significant beyond a certain threshold.

Table 3. Physical properties of DES at 298.15 K.

Salt	HBD	pH	Density (g cm ⁻³)	Viscosity (Pa s)
Bet	1,2-Butanediol	7.92	1.04	0.025
	1,3-Butanediol	8.30	1.04	0.024
	2,3-Butanediol	7.07	1.04	0.023
	1,4-Butanediol	6.67	1.05	0.024
	Ethylene glycol	7.61	1.13	0.040
	Glycerol	7.22	1.24	0.632
	Levulinic Acid	2.64	1.15	1.370

In conclusion, among the seven combinations screened, betaine:ethylene glycol (1:4, mol:mol) DES was selected for use in subsequent optimization studies because it provided the highest recovery in terms of both total phenolic and antioxidant capacity.

3.2. Modeling study based on Box-Behnken-RSM

A three-factor, three-level Box-Behnken design was established to optimise the ultrasound-assisted extraction system using betaine:ethylene glycol DES, with amplitude (X_1), water content (X_2), and time (X_3) as the factors (see Table 3). The Design-Expert software generated 17 test points (Table 4). TPC ranged from 23.43-34.18 mg-GAE/g-DL, TFC from 14.29-17.63 mg-CE/g-DL, and AA from 20.64-28.89 mg-TAEC/g-DL; the narrow ranges indicate that the selected factor levels reasonably covered the extraction window.

Table 4. Experimental results formed by Box-Behnken design*

Run	Factors			Responses		
	X_1	X_2	X_3	TPC (mg-GAE/ g-DL)	TFC (mg-CE/ g-DL)	AA (mg-TAEC/ g-DL)
1	10	50	10	23.68±0.002	17.48±0.001	20.64±0.002
2	20	70	20	28.10±0.001	14.29±0.001	26.17±0.001
3	20	50	15	23.43±0.003	15.95±0.003	28.29±0.003
4	20	30	10	29.93±0.002	15.43±0.004	27.11±0.001
5	30	70	15	26.10±0.006	15.30±0.002	23.12±0.005
6	10	30	15	26.43±0.008	17.61±0.001	23.90±0.004
7	10	50	20	24.77±0.001	17.63±0.002	22.79±0.002
8	20	50	15	32.27±0.011	16.50±0.003	28.89±0.001
9	10	70	15	25.18±0.010	17.61±0.009	21.68±0.001
10	20	70	10	26.02±0.005	17.05±0.004	23.87±0.004
11	30	50	20	29.52±0.009	15.39±0.005	25.57±0.005

12	20	50	15	32.18±0.008	16.50±0.006	28.50±0.002
13	30	30	15	25.43±0.005	15.39±0.007	25.70±0.002
14	20	30	20	29.35±0.003	15.95±0.003	27.43±0.001
15	20	50	15	34.18±0.003	15.41±0.005	28.53±0.002
16	30	50	10	26.27±0.001	16.50±0.002	24.00±0.001
17	20	50	15	31.68±0.002	15.95±0.001	28.00±0.001

Abbreviations: CE. equivalents of catechin; DL. dried leaf; GAE. equivalents of gallic acid; TEAC. trolox equivalent; TFC. total flavonoid content; TPC. total phenolic content; AA. antioxidant activity.

* Each value is the mean±standard deviation of three replicate analyses.

The quadratic model was found to be statistically significant for all three responses (Table 5). The F-value for the TPC model was calculated as 24.50 and the p-value as 0.0002, while the inconsistency test was insignificant ($p = 0.0985$), indicating that the model adequately represents the data. The R^2 value calculated from the same table is 0.9692, and the adjusted R^2 is 0.9296. In the TPC response, water content (X_2 , $p = 0.0077$), duration (X_3 , $p = 0.0433$), amplitude-water content interaction (X_1X_2 , $p = 0.0216$), and especially the second-order term of amplitude (X_1^2 , $p < 0.0001$) stood out as statistically significant model terms.

The TFC model was also found to be significant ($F = 9.01$, $p = 0.0042$; lack of fit $p = 0.6125$, insignificant), with $R^2 = 0.9202$ and corrected $R^2 = 0.8176$. In this response, amplitude (X_1 , $p = 0.0003$), duration (X_3 , $p = 0.0318$), water content-duration interaction (X_2X_3 , $p = 0.0061$), and the second-order term of amplitude (X_1^2 , $p = 0.0087$) were found to be significant; however, the effect of water content (X_2) alone on TFC was insignificant ($p = 0.9166$) suggesting that TFC responds to water content via a different mechanism than TPC.

Table 5. Analysis of variance test results for the TPC. TFC and DPPH

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
TPC (mg-GAE/g-DL)	Model	154.68	9	17.19	24.50	0.0002	significant
	X ₁ - Amplitude	13.17	1	13.17	18.77	0.0034	
	X ₂ - Water Content	9.60	1	9.60	13.68	0.0077	
	X ₃ - Time	4.25	1	4.25	6.06	0.0433	
	X ₁ X ₂	6.08	1	6.08	8.66	0.0216	
	X ₁ X ₃	1.17	1	1.17	1.67	0.2369	
	X ₂ X ₃	1.78	1	1.78	2.53	0.1555	
	X ₁ ²	84.17	1	84.17	119.97	< 0.0001	
	X ₂ ²	20.00	1	20.00	28.51	0.0011	
	X ₃ ²	5.62	1	5.62	8.01	0.0254	
	Residual	4.91	7	0.7016			
	Lack of Fit	3.74	3	1.25	4.24	0.0985	not significant

TFC (mg-CE/ g-DL)	Pure Error	1.18	4	0.2940			
	Cor Total	159.60	16				
	Model	14.53	9	1.61	9.01	0.0042	significant
	X ₁	7.48	1	7.48	41.69	0.0003	
	X ₂	0.0021	1	0.0021	0.0118	0.9166	
	X ₃	1.28	1	1.28	7.15	0.0318	
	X ₁ X ₂	0.0022	1	0.0022	0.0124	0.9146	
	X ₁ X ₃	0.3942	1	0.3942	2.20	0.1817	
	X ₂ X ₃	2.69	1	2.69	15.01	0.0061	
	X ₁ ²	2.33	1	2.33	12.97	0.0087	
	X ₂ ²	0.4536	1	0.4536	2.53	0.1557	
	X ₃ ²	0.0121	1	0.0121	0.0675	0.8025	
	Residual	1.26	7	0.1793			
	Lack of Fit	0.4206	3	0.1402	0.6722	0.6125	not significant
	Pure Error	0.8344	4	0.2086			
	Cor Total	15.79	16				
	Model	107,53	9	11,95	50,87	< 0.0001	significant
	X ₁	11,00	1	11,00	46,83	0,0002	
	X ₂	10,81	1	10,81	46,02	0,0003	
	X ₃	5,02	1	5,02	21,39	0,0024	
DPPH (mg-TEAC/ g-DL)	X ₁ X ₂	0,0324	1	0,0324	0,1379	0,7213	
	X ₁ X ₃	0,0841	1	0,0841	0,3581	0,5684	
	X ₂ X ₃	0,9810	1	0,9810	4,18	0,0803	
	X ₁ ²	63,01	1	63,01	268,27	< 0.0001	
	X ₂ ²	3,99	1	3,99	16,99	0,0044	
	X ₃ ²	7,38	1	7,38	31,41	0,0008	
	Residual	1,64	7	0,2349			
	Lack of Fit	1,21	3	0,4047	3,76	0,1165	not significant
	Pure Error	0,4300	4	0,1075			
	Cor Total	109,18	16				

The model established for the antioxidant activity (AA) response showed the strongest statistical fit among the four responses examined ($F = 50.87$, $p < 0.0001$; lack of fit $p = 0.1165$, insignificant; $R^2 = 0.9849$, corrected $R^2 = 0.9656$, estimated $R^2 = 0.8159$). The high Adeq Precision value of 19.6 confirms that the signal-to-noise ratio is sufficient for reliable prediction in the design space. In this response, amplitude (X_1 , $p = 0.0002$), water content (X_2 , $p = 0.0003$), and duration (X_3 , $p = 0.0024$) showed significant effects individually, while the second-order term of amplitude (X_1^2) stands out as the most dominant term in the model with $F = 268.27$. This suggests that an increase in ultrasound amplitude beyond a certain point creates a nonlinear, possibly limiting, effect on antioxidant efficiency, likely due to overheating or compound degradation.

The coefficients of variation calculated for the three responses (approximately 3.00% for TPC, approximately 2.61% for TFC, and 1.90% for AA) were all below 10%, supporting high

consistency between experimental replicates and indicating that the models can produce reliable predictions.

3.3. Optimization study based on Box-Behnken design

The optimum conditions for the betaine:ethylene glycol (1:4, mol:mol) DES-based ultrasound-assisted extraction system were determined using the Design-Expert software, with equal weights and significance coefficients assigned to TPC, TFC, and DPPH responses, in the same manner as the approach followed in the ChCl-based study (Kurtulbaş et al., 2024). The recommended conditions were calculated as 16.14% amplitude, 33.64% (v/v) water content, and 12.11 minutes extraction time (Table 6). The fact that the difference between the predicted and experimentally verified values under these conditions remained below 0.05% for all responses indicates that the established quadratic models have high predictive power and that the optimization result is reliably repeatable. While the experimental result for TPC was 28.71 mg-GAE/g-DL compared to the predicted value of 29.98 mg-GAE/g-DL, TFC was confirmed as 16.30 mg-CE/g-DL compared to 16.08 mg-CE/g-DL, and DPPH as 26.90 mg-TEAC/g-DL compared to 26.99 mg-TEAC/g-DL.

Table 6. Verification results of the optimum conditions for the ultrasound assisted extraction

Optimum Extraction Conditions			Parameter	Predicted	Experimental	Error
X ₁ (%)	X ₂ (% v/v)	X ₃ (min)				
16.14	33.64	12.11	TPC	29.98	28.71	<0.05
			TFC	16.08	16.30	<0.05
			DPPH	26.99	26.90	<0.05

4. Conclusions

The optimum conditions of the betaine system show remarkable differences when compared to the optimum conditions of ChCl:1,4-butanediol previously determined for the same biomass (15% amplitude, 56% water content, 20 minutes) (Kurtulbaş et al., 2024). Although the amplitude values were similar in both systems, the betaine system reached optimum efficiency at a significantly lower water content (33.64% vs. 56%) and in almost half the time (12.11 minutes vs. 20 minutes). This difference can be explained by the lower viscosity of betaine:ethylene glycol DES compared to ChCl:1,4-butanediol; a more fluid medium may have accelerated the dissolution and diffusion kinetics of the target compounds, allowing equilibrium to be reached in a shorter time and with less water dilution.

Among the seven combinations screened, betaine:ethylene glycol (1:4 mol:mol) DES stood out by providing the highest TPC, TFC, and DPPH yields. Response surface optimization based on the Box-Behnken design generated statistically significant and highly predictive quadratic models for TPC, TFC, and DPPH responses, with the strongest model fit observed in the antioxidant activity response ($R^2 = 0.9849$). Validation experiments showed that under optimum conditions 16.14% amplitude, 33.64% water content, and 12.11 minutes the difference between predicted and experimental results remained below 0.05% for all responses, confirming the reliability of the established models.

In conclusion, this study demonstrates that betaine-based DESs offer alternative, green extraction media with a unique performance profile for bioactive recovery from *Moringa oleifera* leaves. Screening and optimizing different HBAs reveals the need for a targeted

bioactive and application-specific selection strategy in DES design, rather than a universal "best combination".

References

- A Malik, N. S., & Bradford, J. M. (2005). Recovery and stability of oleuropein and other phenolic compounds during extraction and processing of olive (*Olea europaea* L.) leaves WFL Publisher Science and Technology. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 6(2), 8–13. www.world-food.net
- Auwalu, G., Dingwoke, E. J., Amin, A. F., Nwobodo, N. N., & Lawan, M. M. (2019). Comparative Free Radical Scavenging Efficacy of Leaves Extract of *Moringa Oleifera* and Petals Extract of *Hibiscus Sabdariffa*. *Pharmacognosy Journal*, 11(6), 1342–1346. <https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.207>
- Divya, S., Pandey, V. K., Dixit, R., Rustagi, S., Suthar, T., Atuahene, D., Nagy, V., Ungai, D., Ahmed, A. E. M., Kovács, B., & Shaikh, A. M. (2024). Exploring the Phytochemical, Pharmacological and Nutritional Properties of *Moringa oleifera*: A Comprehensive Review. *Nutrients* 2024, Vol. 16, Page 3423, 16(19), 3423. <https://doi.org/10.3390/NU16193423>
- Georgantzi, C., Lioliou, A. E., Paterakis, N., & Makris, D. P. (2017). Combination of Lactic Acid-Based Deep Eutectic Solvents (DES) with β -Cyclodextrin: Performance Screening Using Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from Selected Native Greek Medicinal Plants. *Agronomy* 2017, Vol. 7, Page 54, 7(3), 54. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY7030054>
- Hansen, B. B., Spittle, S., Chen, B., Poe, D., Zhang, Y., Klein, J. M., Horton, A., Adhikari, L., Zelovich, T., Doherty, B. W., Gurkan, B., Maginn, E. J., Ragauskas, A., Dadmun, M., Zawodzinski, T. A., Baker, G. A., Tuckerman, M. E., Savinell, R. F., & Sangoro, J. R. (2021). Deep Eutectic Solvents: A Review of Fundamentals and Applications. *Chemical Reviews*, 121(3), 1232–1285. <https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMREV.0C00385>
- Issa, J. Y., Onyango, A., Makokha, A., & Okoth, J. (2022). Nutrients Content and Antioxidant Potential of Selected Traditional Vegetables Grown in Malawi. *Journal of Agricultural Studies*, 9(2), 406. <https://doi.org/10.5296/JAS.V9I2.18424>
- Kurtulbaş, E., Pekel, A. G., Bilgin, M., Makris, D. P., & Şahin, S. (2020). Citric acid-based deep eutectic solvent for the anthocyanin recovery from *Hibiscus sabdariffa* through microwave-assisted extraction. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2020 12:2, 12(2), 351–360. <https://doi.org/10.1007/S13399-020-00606-3>
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2015). Cultivation, Genetic, Ethnopharmacology, Phytochemistry and Pharmacology of *Moringa oleifera* Leaves: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences* 2015, Vol. 16, Pages 12791–12835, 16(6), 12791–12835. <https://doi.org/10.3390/IJMS160612791>
- Mushtaq, B. S., Pasha, I., Omer, R., Hussain, M. B., Tufail, T., Shariati, M. A., Derkanosova, A. A., Shchetilina, I. P., Popova, N. N., Popov, E. S., Oseneva, O. V., & Kharitonov, D. V. (2018). Characterization of *Moringa oleifera* leaves and its utilization as value added ingredient in unleavened flat bread (chapatti). *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 8(1), 751–755. <https://doi.org/10.15414/JMBFS.2018.8.1.751-755>
- Nowacki, K., Wysokowski, M., & Galiński, M. (2025). Synthesis and characterization of betaine-based natural deep eutectic solvents for electrochemical application. *Journal of Molecular Liquids*, 424, 127071. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2025.127071>
- Rashid, R., Mohd Wani, S., Manzoor, S., Masoodi, F. A., & Masarat Dar, M. (2023). Green extraction of bioactive compounds from apple pomace by ultrasound assisted natural deep

eutectic solvent extraction: Optimisation, comparison and bioactivity. *Food Chemistry*, 398, 133871. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133871>

Şahin, S., Toprakçı, İ., & Kurtulbaş, E. (2025). Innovative extraction with green technologies: phenolic and antioxidant profiling of *Moringa oleifera* leaves using a ternary deep eutectic solvent and ultrasound. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 19(6), 1849–1861. <https://doi.org/10.1002/BBB.2784>;ISSUE:ISSUE:DOI

Sakanaka, S., Tachibana, Y., & Okada, Y. (2005). Preparation and antioxidant properties of extracts of Japanese persimmon leaf tea (kakinoha-cha). *Food Chemistry*, 89(4), 569–575. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2004.03.013>

**NAR (*PUNICA GRANATUM L.*) ÇİÇEĞİNİN OTOMATİK SOLVENT
EKSTRAKSİYONU: FENOLİK VE ANTOSİYANİN İÇERİĞİNİN
OPTİMİZASYONU VE ANTIOKSİDAN AKTİVİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

Nar (*Punica granatum L.*) çiçeği, fenolik bileşikler ve antosiyaninler açısından değerli bir bitkisel kaynak olup, bu bileşiklerin uygun ekstraksiyon koşullarında etkin şekilde geri kazanılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada, kurutulmuş nar çiçeğinden biyoaktif bileşiklerin otomatik solvent ekstraksiyonunun toplam fenolik içerik (TPC) ve toplam antosiyanin içeriği (TAC) açısından optimize edilmesi ve elde edilen ekstraktların antioksidan aktivitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ekstraksiyon koşullarının optimizasyonunda Box-Behnken deney tasarımı kullanılmış; daldırma süresi (15-35 dk), katı miktarı (0.5-1.5 g) ve çözücü konsantrasyonu (%20-80, v/v) bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. TPC ve TAC optimizasyon yanıtları olarak değerlendirilirken, ekstraktların antioksidan aktiviteleri ABTS ve DPPH radikal süpürme yöntemleriyle belirlenmiştir. Ayrıca TPC, TAC, ABTS ve DPPH sonuçları arasındaki doğrusal ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. TPC ve TAC için oluşturulan ikinci dereceden polinomial modeller istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.0001$). Modellerin R^2 değerleri sırasıyla 0.9923 ve 0.9960 olarak belirlenmiş ve uyum eksikliğinin istatistiksel olarak anlamsız olması modellerin deneysel verilerle uyumunu doğrulamıştır. Sayısal optimizasyon sonucunda optimum koşullar 34.486 dk daldırma süresi, 1.479 g katı miktarı ve %79.793 çözücü konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda deneysel TPC ve TAC değerleri sırasıyla 504.558 mg-GAE/g-DM ve 20.079 mg-C3G/g-DM olarak elde edilmiş; tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçlar arasındaki hata sırasıyla %0.154 ve %1.030 olarak hesaplanmıştır. Pearson korelasyon analizi, TPC ile TAC arasında güçlü pozitif bir ilişki ($r=0.887$), ABTS ile DPPH radikal süpürme aktiviteleri arasında ise çok güçlü pozitif bir ilişki ($r=0.999$) olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, otomatik solvent ekstraksiyonunun nar çiçeğinden fenolik bileşikler ve antosiyaninlerin etkin şekilde geri kazanılmasında kullanılabileceğini ve nar çiçeğinin doğal biyoaktif bileşik ve antioksidan kaynağı olarak değerlendirilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Punica granatum L.*; otomatik solvent ekstraksiyonu; Box-Behnken tasarımı; fenolik içerik; antosiyanin.

AUTOMATIC SOLVENT EXTRACTION OF *PUNICA GRANATUM* L. FLOWERS: OPTIMIZATION OF PHENOLIC AND ANTHOCYANIN CONTENTS AND EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY

ABSTRACT

Punica granatum L. flowers are a valuable plant source of phenolic compounds and anthocyanins, and the efficient recovery of these compounds under appropriate extraction conditions is of considerable importance. This study aimed to optimize the automatic solvent extraction of bioactive compounds from dried *P. granatum* flowers in terms of total phenolic content (TPC) and total anthocyanin content (TAC) and to evaluate the antioxidant activities of the resulting extracts. A Box-Behnken experimental design was employed for optimization, with immersion time (15-35 min), solid mass (0.5-1.5 g), and solvent concentration (20-80%, v/v) selected as independent variables. TPC and TAC were evaluated as optimization responses, while the antioxidant activities of the extracts were determined using ABTS and DPPH radical scavenging assays. Pearson correlation analysis was also performed to evaluate the linear relationships among TPC, TAC, ABTS, and DPPH results. The quadratic polynomial models developed for TPC and TAC were statistically significant ($p < 0.0001$). The R^2 values of the models were 0.9923 and 0.9960, respectively, and the non-significant lack-of-fit confirmed adequate agreement between the models and the experimental data. Numerical optimization identified the optimum conditions as an immersion time of 34.486 min, a solid mass of 1.479 g, and a solvent concentration of 79.793%. Under these conditions, the experimental TPC and TAC values were 504.558 mg-GAE/g-DM and 20.079 mg-C3G/g-DM, respectively, with errors of 0.154% and 1.030% between the predicted and experimental values. Pearson correlation analysis revealed a strong positive relationship between TPC and TAC ($r = 0.887$) and a very strong positive relationship between ABTS and DPPH radical scavenging activities ($r = 0.999$). The results demonstrate that automatic solvent extraction can be effectively used for the recovery of phenolic compounds and anthocyanins from *P. granatum* flowers and highlight their potential as a natural source of bioactive and antioxidant compounds.

Keywords: *Punica granatum* L.; automatic solvent extraction; Box-Behnken design; phenolic content; anthocyanin.

1. INTRODUCTION

Phenolic compounds and anthocyanins have been known to have a significant role in preventing diseases caused by oxidative stress due to their strong antioxidant properties [1]. These bioactives reduce cellular damage through mechanisms such as scavenging free radicals, chelating metal ions and inhibiting lipid peroxidation [2]. They are also reported to be effective in reducing the risk of chronic diseases such as cardiovascular diseases, diabetes, and some types of cancer [3]. Therefore, researching natural antioxidant sources and obtaining them through effective extraction methods is of great importance.

Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit has been studied for many years [4,5]. Additionally, pomegranate flowers stand out as a byproduct rich in phenolic compounds, flavonoids, tannins and anthocyanins [6,7]. The antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory effects of these compounds found in pomegranate flowers have been demonstrated in some studies [6–8]. As far as we know, this study is the first for the investigation of recovery of phenolic substances and anthocyanins from dried pomegranate flowers through automated solvent extraction (ASE). In recent years, ASE has become widely used due to its ability to reduce solvent usage, shorten extraction time, and provide high recovery efficiency [9,10]. Furthermore, response surface

methodology (RSM) and Box-Behnken experimental design stand out as effective statistical tools for determining the effects of process parameters and identifying optimum conditions [11,12]. In this study, 3-factor and 3-level Box-Behnken design was used to design of the experiments and to optimize the ASE conditions.

The aim of this study is to obtain phenolic components and anthocyanins from dried pomegranate flowers by ASE, to optimize the extraction parameters and to evaluate the antioxidant activities of the phenolic- and anthocyanin-rich extracts.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

Dried pomegranate flowers were purchased from a single transaction from a herbalist. The ground samples were stored under appropriate conditions until the extraction stage.

2.2. Extraction Procedure and Experimental Design

An automated solvent extraction system (SER 158, Velp Scientifica, Usmate, Italy) was used to extract bioactive compounds from pomegranate flower samples. During the extraction process, a specified amount of ground and dried pomegranate flower samples (Table 1) were placed in extraction cartridges and treated with 80 mL solvent mixtures. Different solvent concentrations were used to evaluate the effect of solvent composition as seen in Table 1. The procedure was described in our prior study [13].

Table 1. Process parameters, units, symbol, and coded levels.

Process Parameter	Units	Symbol	Coded levels		
			-1	0	1
Immersion time	min	A	15	25	35
Solid mass	g	B	0.5	1	1.5
Solvent concentration	%, v/v	C	20	50	80

Box-Behnken experimental design was applied within the scope of RSM to optimize the extraction parameters. The design was created using Design-Expert software (13.0.5.0 version, StatEase Inc., USA). Independent variables were immersion time (A, 15-35 min), solid amount (B, 0.5-1.5 g) and solvent concentration (C, 20-80%, v/v) as given in Table 1. The experimental design consisted of a total of 17 experimental conditions. Total phenolic content (TPC) and total anthocyanin content (TAC) were selected as optimization responses (dependent variables). Furthermore, experimental results were evaluated using a second-order polynomial model.

2.3. Spectrophotometric Measurements

A UV-Vis spectrophotometer (PG Instruments, T60/Leicestershire, England) was used to measure TPC, TAC and antioxidant activity. Total phenolic content was determined using the Folin-Ciocalteu colorimetric method [14]. Extract samples were reacted with Folin-Ciocalteu reagent and sodium carbonate solution. Absorbance values were measured at 765 nm after incubation for 30 min. Calibration curves were prepared using gallic acid standards. The results were expressed as mg gallic acid equivalent/g dry matter (mg-GAE/g-DM).

Total anthocyanin content was determined by the pH differential method [15]. Potassium chloride buffer (pH 1.0) and sodium acetate buffer (pH 4.5) were used in the analyses.

Absorbance of the samples was measured at 520 and 700 nm wavelengths. TAC was calculated as cyanidin-3-glucoside equivalent. The results were presented as mg-C3G/g dry matter. The free radical scavenging capacity of the extracts was evaluated using the DPPH and ABTS methods, respectively. A specific amount of extract was mixed with a DPPH solution, incubated in a dark environment, and the absorbance was measured at 517 nm at the end of the reaction [16]. The radical cation scavenging capacity of ABTS was determined using the ABTS decolorization method. Extract samples were reacted with an ABTS solution, and absorbance values were measured at 734 nm at the end of the determined incubation time [16]. Antioxidant activity results were calculated using the Trolox standard curve and expressed as mg Trolox equivalent antioxidant capacity/g dry matter (mg-TEAC/g-DM).

2.4. Statistical Analysis

Design-Expert software (13.0.5.0 version, StatEase Inc., USA) was used to evaluate the experimental data. Model fit was assessed using analysis of variance (ANOVA). Additionally, the relationships between variables were examined using Pearson correlation analysis by Minitab statistical software 22 (Minitab Inc., State College, PA, USA).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Bioactive Substances of Pomegranate Flowers

TPC and TAC findings of the pomegranate flower extracts are given in Table 2. TPC values ranged from 200.274 to 486.658 mg-GAE/g-DM. The highest TPC value was obtained at a 35-minute immersion time, 1 g of solid sample and 80% ethanol concentration (Run 10). On the other hand, TAC values ranged from 2.986 to 19.173 mg-C3G/g-DM. Similarly, the highest TAC was also observed at the same conditions (Run 10). It was observed that increasing solvent concentration had a significant positive effect on both TPC and TAC values. Higher phenolic and anthocyanin recoveries were obtained, particularly in experiments conducted at 80% solvent concentration.

Higher phenolic and anthocyanin recoveries were obtained in experiments conducted at 80% solvent concentration. This can be explained by the fact that increasing the polar solvent ratio facilitates cell wall permeability and the passage of target compounds into the extraction medium.

Table 2. Box-Behnken experimental design matrix and experimental responses for TPC and TAC*.

Run	Immersion time (min)	Solid mass (g)	Solvent concentration (% v/v)	TPC (mg-GAE/g-DM)	TAC (mg-C3G/g-DM)
1	15	1.5	50	213.460 ± 0.002	4.384 ± 0.003
2	35	0.5	50	274.931 ± 0.003	4.078 ± 0.003
3	25	1	50	212.188 ± 0.003	4.048 ± 0.003
4	35	1.5	50	358.581 ± 0.001	10.233 ± 0.003
5	25	1	50	207.417 ± 0.004	4.108 ± 0.003
6	25	0.5	20	258.462 ± 0.004	3.603 ± 0.003
7	25	1	50	211.931 ± 0.002	4.308 ± 0.003
8	15	0.5	50	419.585 ± 0.003	8.792 ± 0.003
9	25	0.5	80	342.042 ± 0.003	7.052 ± 0.003

10	35	1	80	486.658 ± 0.001	19.173 ± 0.003
11	25	1.5	20	204.535 ± 0.004	3.047 ± 0.003
12	25	1.5	80	279.068 ± 0.003	8.846 ± 0.003
13	35	1	20	249.243 ± 0.004	2.986 ± 0.003
14	25	1	50	200.274 ± 0.002	4.063 ± 0.003
15	15	1	20	357.245 ± 0.002	12.136 ± 0.003
16	25	1	50	221.274 ± 0.001	4.609 ± 0.003
17	15	1	80	319.04 ± 0.003	7.431 ± 0.003

Abbreviations: DM, dry matter; GAE, gallic acid equivalents; TPC, total phenolic content; C3G, cyanidin-3- glucoside equivalents; TAC, total anthocyanin content.

* Data are given as the mean (n = 3) ± standard deviation.

3.2. ANOVA Findings and Model Fitting

Second-order polynomial models were developed to explain the variation of TPC and TAC responses depending on the extraction parameters (Table 3). The model equations obtained using coded variables are given in Equation (1) and Equation (2), respectively. For the TPC model, solvent concentration (C), solid amount (B) and especially the AB and AC interaction terms were found to have a significant effect on the response. When the TAC model was examined (Equation (2)), it was determined that solvent concentration was the variable with the highest coefficient, where AB and AC interactions significantly affected anthocyanin extraction.

Table 3. Quadratic model equations for TPC and TAC in terms of coded factors.

Response	Model Equation
$Y_{TPC} =$	$210.62 + 7.51 A - 29.92 B + 44.67 C + 72.44 AB + 68.91 AC - 2.26 BC + 94.02 A^2 + 12.00 B^2 + 48.41 C^2$ (1)
$Y_{TAC} =$	$4.23 + 0.4661 A + 0.3732 B + 2.59 C + 2.64 AB + 5.22 AC + 0.5877 BC + 3.72 A^2 - 1.07 B^2 + 2.48 C^2$ (2)

Table 4. ANOVA for the quadratic models of TPC and TAC.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1.145E+05	9	12722.16	100.36	< 0.0001	significant
A-Immersion time	451.23	1	451.23	3.56	0.1012	
B-Solid mass	7162.61	1	7162.61	56.51	0.0001	
TPC C-Solvent concentration	15960.07	1	15960.07	125.91	< 0.0001	
AB	20992.45	1	20992.45	165.61	< 0.0001	
AC	18991.60	1	18991.60	149.82	< 0.0001	
BC	20.46	1	20.46	0.1614	0.6998	

	A ²	37220.97	1	37220.97	293.64	< 0.0001	
	B ²	606.45	1	606.45	4.78	0.0649	
	C ²	9866.85	1	9866.85	77.84	< 0.0001	
	Residual	887.31	7	126.76			
	Lack of Fit	652.33	3	217.44	3.70	0.1192	not significant
	Pure Error	234.99	4	58.75			
	Cor Total	1.154E+05	16				
	C.V.: 3.97%	R ² =0.9923		Adjusted R ² =0.9824		Predicted R ² =0.9064	
TAC	Model	285.76	9	31.75	193.38	< 0.0001	significant
	A-Immersion time	1.74	1	1.74	10.58	0.0140	
	B-Solid mass	1.11	1	1.11	6.79	0.0352	
	C-Solvent concentration	53.73	1	53.73	327.22	< 0.0001	
	AB	27.89	1	27.89	169.87	< 0.0001	
	AC	109.09	1	109.09	664.41	< 0.0001	
	BC	1.38	1	1.38	8.41	0.0230	
	A ²	58.23	1	58.23	354.66	< 0.0001	
	B ²	4.86	1	4.86	29.62	0.0010	
	C ²	25.99	1	25.99	158.30	< 0.0001	
	Residual	1.15	7	0.1642			
	Lack of Fit	0.9238	3	0.3079	5.46	0.0673	not significant
	Pure Error	0.2255	4	0.0564			
	Cor Total	286.91	16				
	C.V.: 6.10%	R ² =0.9960		Adjusted R ² =0.9908		Predicted R ² =0.9473	

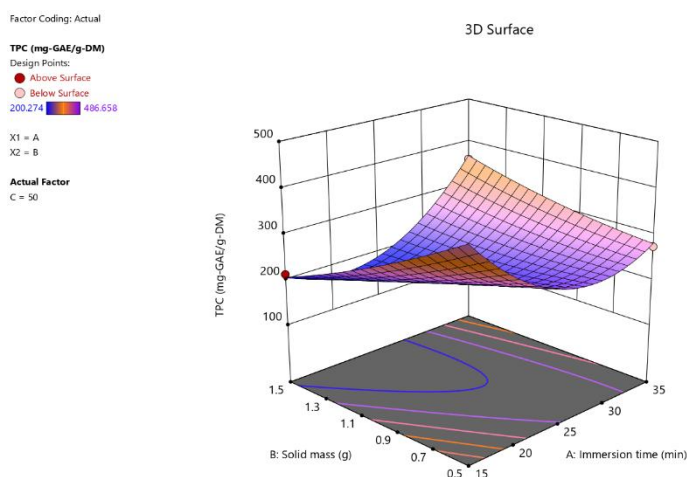
The statistical fit of the models obtained with Equation (1) and Equation (2) was evaluated by ANOVA, where the results are presented in Table 4. The second-order model created for TPC was found to be highly significant ($p < 0.0001$). The coefficient of determination (R^2) of the model was calculated as 0.9923. The lack of fit test was found to be insignificant ($p = 0.1192$), indicating that the model successfully represented the experimental data.

Similarly, a high statistical fit was obtained for the TAC model. The model's R^2 value was 0.9960, while the lack of fit test was found to be insignificant ($p=0.0673$). These results also demonstrate the high predictive power of the developed models.

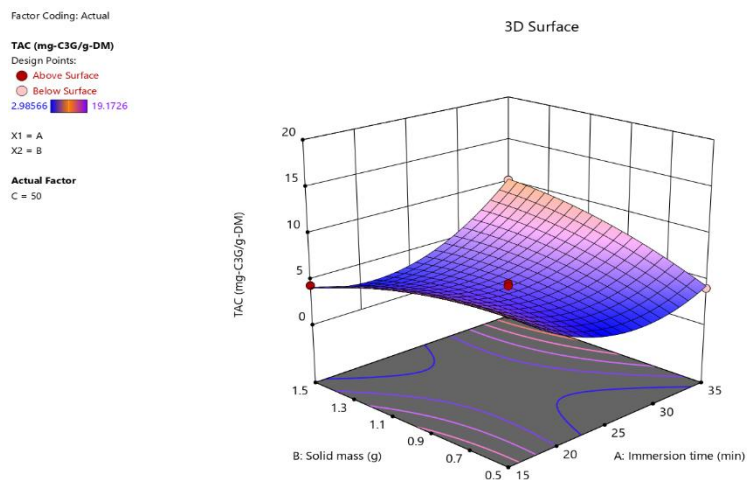
For the TPC model, solvent concentration, solid amount, and interaction terms were determined to be significant. In case of TAC model, all linear factors and interaction terms were found to be significant. An increase in solvent concentration was observed to have a significant positive effect on both TPC and TAC values.

3.3. Response Surface Analysis

Three-dimensional response surface plots (Figures 1-3) were created to visualize the effects of extraction parameters on TPC and TAC. Figure 1 shows the combined effects of immersion time (A) and solid amount (B) on TPC and TAC when the solvent concentration is kept constant (50%, v/v). Regarding TPC, higher phenolic content values are observed at lower solid amounts and longer immersion times. A significant decrease in TPC values occurs with increasing solid amount (Figure 1a). The surface plot obtained for TAC (Figure 1b) shows a similar trend, where increasing immersion time increases anthocyanin recovery, while high solid amounts negatively affect extraction efficiency. The curved surface structure and elliptical contour lines indicate a significant interaction between the factors for both responses as already seen in Table 4.

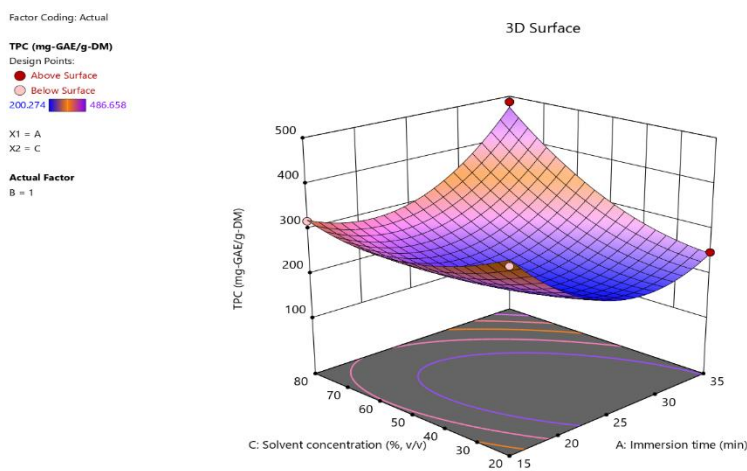


a)

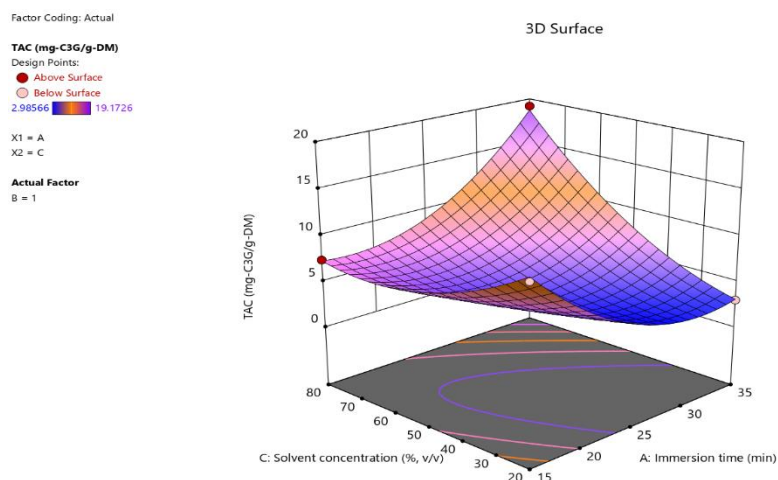


b)

Figure 1. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of immersion time (A) and solid mass (B) on (a) total phenolic content (TPC) and (b) total anthocyanin content (TAC) at a fixed solvent concentration of 50% (C = 50%).



a)



b)

Figure 2. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of immersion time (A) and solvent concentration (C) on (a) total phenolic content (TPC) and (b) total anthocyanin content (TAC) at a fixed solid mass of 1 g (B = 1 g).

Figure 2 evaluates the effects of immersion time and solvent concentration while keeping the solid amount constant at 1 g. The most significant effect on both TPC and TAC is seen to originate from solvent concentration. Increasing the solvent concentration from 20% to 80% resulted in significant increases in both response values. Furthermore, the combination of high solvent concentrations and long immersion times yielded maximum TPC and TAC values. The extended immersion time increased the contact time between the solvent and the solid phase, contributing to more efficient diffusion [17]. This result is consistent with the highly significant AC interaction term found in the ANOVA analysis (Table 4). The sharper surface slope in Figure 2b shows that anthocyanin extraction is more sensitive to changes in solvent concentration than phenolic compounds [15,18].

Figure 3 shows the effects of solid amount and solvent concentration while keeping the immersion time constant. It was determined that TPC and TAC values increased with increasing solvent concentration and decreased with increasing solid amount. The observed decrease in TPC and TAC values with increasing solid content can be explained by mass transfer mechanisms occurring during extraction [19]. Using a higher amount of solid material at a constant solvent volume leads to a decrease in the solvent to solid ratio, potentially limiting the penetration of the solvent into the plant matrix. Furthermore, increased viscosity of the medium and increased interparticle density can also hinder the diffusion of dissolved compounds from the solid phase to the liquid phase. Therefore, a decrease in the extraction efficiency of phenolic compounds and anthocyanins occurred at high solid content.

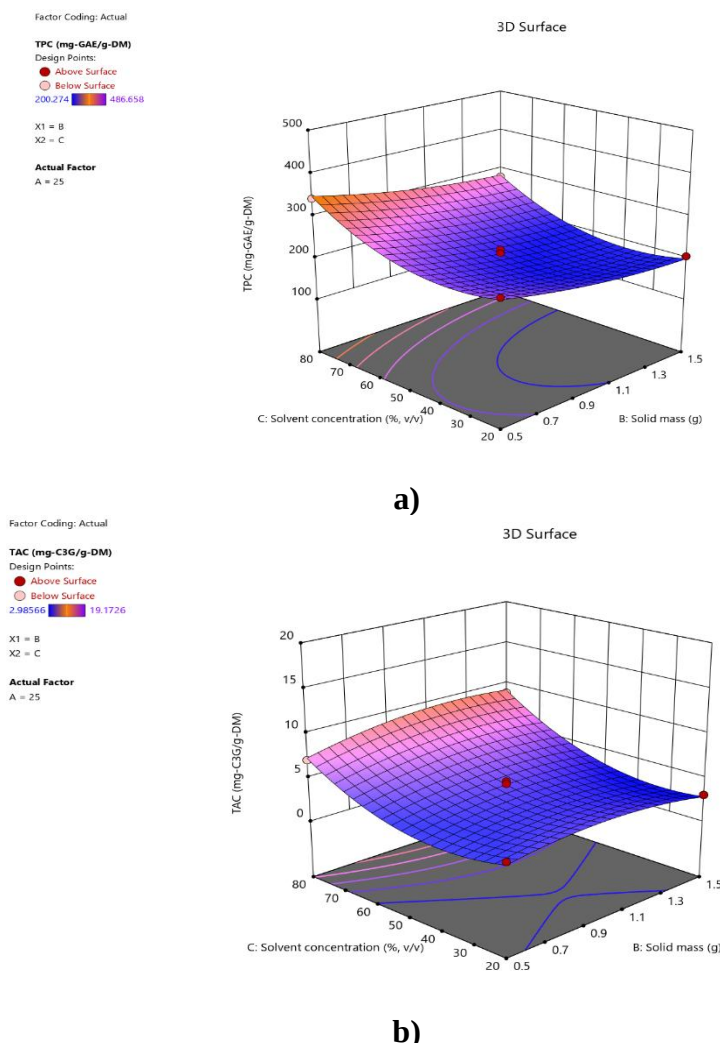


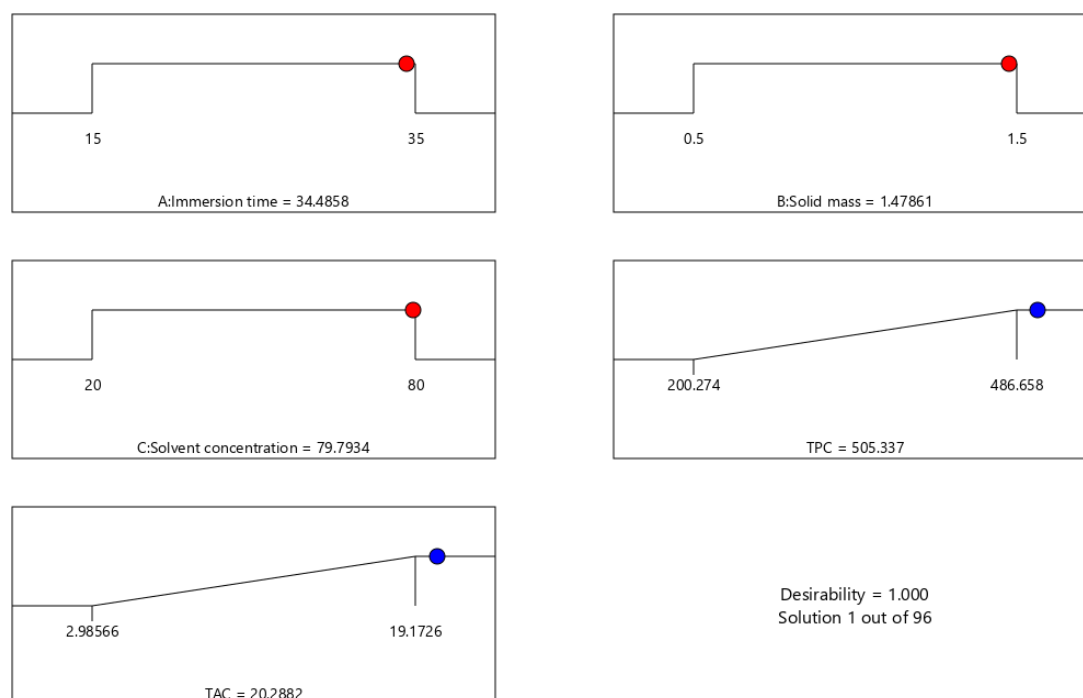
Figure 3. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of solid mass (B) and solvent concentration (C) on (a) total phenolic content (TPC) and (b) total anthocyanin content (TAC) at a fixed immersion time of 25 min ($A = 25$ min).

3.4. Optimization and Validation

The numerical optimization results are presented in Table 4, while the desirability ramp graph of the optimization process is shown in Figure 4. The optimization, aimed at maximizing both TPC and TAC responses, resulted in optimum extraction conditions of 34.486 min immersion time, 1.479 g solid amount, and 79.793% solvent concentration. Under these conditions, the model predicted TPC values of 505.337 mg-GAE/g-DM and TAC values of 20.288 mg-C3G/g-DM, respectively. Furthermore, the desirability value of 1 (Figure 4) indicates that the determined optimum point was chosen as the most suitable solution by the model [20].

Table 5. Optimization and validation results.

Optimum conditions			Response	Predicted	Experimental	Error (%)
A: Immersion time (min)	B: Solid mass (g)	C: Solvent concentration (% v/v)				
34.486	1.479	79.793	TPC (mg-GAE/g-DM)	505.337	504.558	0.154
			TAC (mg-C3G/g-DM)	20.288	20.079	1.030


Figure 4. Desirability ramp plot showing the optimum extraction conditions and predicted TPC and TAC responses.

3.5. Antioxidant Activity Findings

Antioxidant activities of pomegranate flower extracts were determined using ABTS and DPPH radical scavenging methods as given in Table 6. While ABTS values ranged between 14.033-42.702 mg-TEAC/g-DM, DPPH values were found in the range of 12.143-40.332 mg-TEAC/g-DM. In both methods, the highest antioxidant activity values were generally observed in extracts obtained with low solid amounts. The similar trend of ABTS and DPPH results shows that the free radical scavenging capacity of the extracts was determined consistently by both

methods. This was also supported by the pearson correlation analysis (Figure 5). A very strong positive correlation was determined between ABTS and DPPH results ($r=0.999$). This result indicates that the two antioxidant activity methods used similarly assessed the radical scavenging capacity of pomegranate flower extracts.

Table 6. Box-Behnken experimental design matrix and experimental responses for ABTS and DPPH radical scavenging activities*.

Run	Immersion time (min)	Solid mass (g)	Solvent concentration (% v/v)	ABTS (mg-TEAC/g-DM)	DPPH (mg-TEAC/g-DM)
1	15	1.5	50	14.033 $\pm$ 0.002	12.761 $\pm$ 0.002
2	35	0.5	50	42.702 $\pm$ 0.000	40.332 $\pm$ 0.000
3	25	1	50	21.196 $\pm$ 0.000	19.770 $\pm$ 0.001
4	35	1.5	50	14.115 $\pm$ 0.000	12.143 $\pm$ 0.001
5	25	1	50	21.381 $\pm$ 0.000	19.988 $\pm$ 0.001
6	25	0.5	20	42.660 $\pm$ 0.000	40.084 $\pm$ 0.001
7	25	1	50	21.366 $\pm$ 0.001	20.136 $\pm$ 0.001
8	15	0.5	50	41.865 $\pm$ 0.000	38.989 $\pm$ 0.001
9	25	0.5	80	42.158 $\pm$ 0.001	39.758 $\pm$ 0.001
10	35	1	80	20.635 $\pm$ 0.000	17.559 $\pm$ 0.006
11	25	1.5	20	14.128 $\pm$ 0.000	12.999 $\pm$ 0.001
12	25	1.5	80	14.173 $\pm$ 0.001	13.098 $\pm$ 0.001
13	35	1	20	21.123 $\pm$ 0.001	19.583 $\pm$ 0.000
14	25	1	50	21.277 $\pm$ 0.001	20.018 $\pm$ 0.003
15	15	1	20	21.100 $\pm$ 0.000	19.443 $\pm$ 0.001
16	25	1	50	21.381 $\pm$ 0.000	20.136 $\pm$ 0.001
17	15	1	80	20.349 $\pm$ 0.001	18.961 $\pm$ 0.002

Abbreviations: DM, dried matter; TEAC, Trolox equivalent antioxidant capacity; DPPH, DPPH radical scavenging activity (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl); ABTS, ABTS radical scavenging activity (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)).

* Data are given as the mean ($n = 3$) $\pm$ standard deviation.

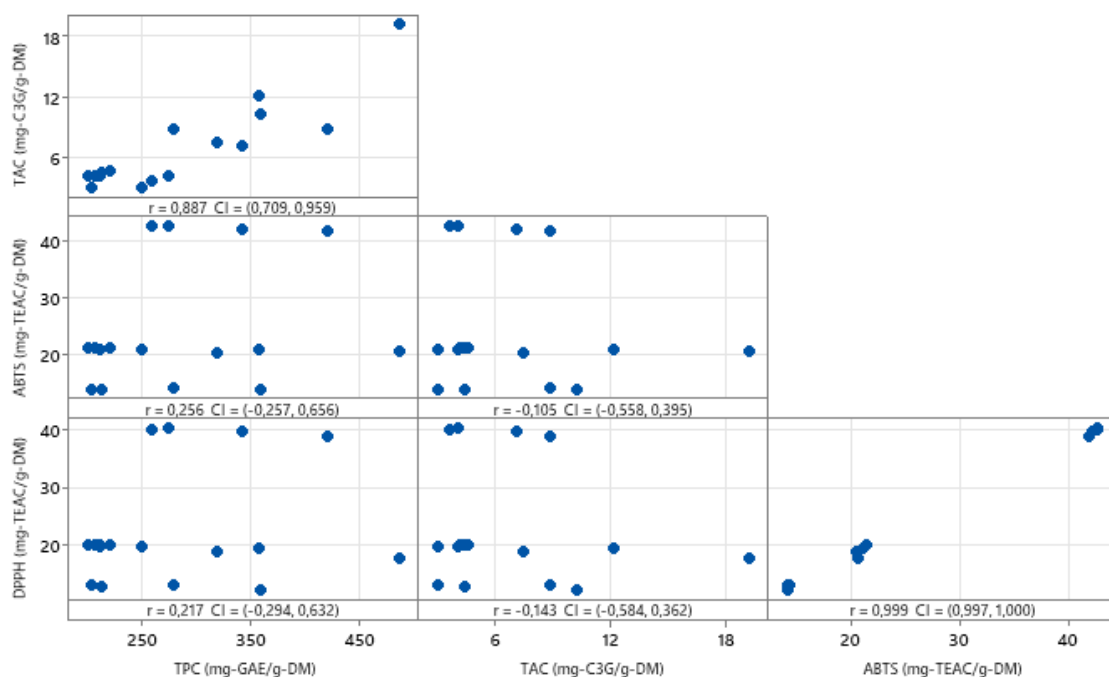


Figure 5. Pearson correlation analysis between TPC, TAC, ABTS and DPPH antioxidant activities of pomegranate flower extracts.

Pearson correlation analysis results (Figure 5) showed a strong positive relationship between TPC and TAC ($r=0.887$). This indicates that phenolic compounds and anthocyanins exhibit similar behavior during extraction. Also, the recovery of both groups is affected by similar process conditions. In contrast, weak correlations were obtained between TPC and TAC values and ABTS and DPPH results ($r = -0.143-0.271$). This suggests that antioxidant activity is not solely dependent on TPC or TAC. Structural properties and possible synergistic effects of phenolic compounds as well as other bioactive compounds present in the extract might also influence antioxidant capacity.

4. CONCLUSIONS

Pomegranate flower has been demonstrated to be a significant natural resource for phenolic compounds and anthocyanins. The effects of extraction parameters on the recovery of bioactive compounds were successfully identified using response surface methodology. Additionally, suitable operating conditions for the process were determined. The results showed that solvent concentration was one of the most important factors affecting extraction performance. Correlation analyses revealed a strong relationship between phenolic compounds and anthocyanins. On the other hand, antioxidant activity is not solely dependent on the quantity of these relevant compounds. The last but not the least, automated solvent extraction offers an effective approach for converting pomegranate by-products into high value-added bioactive components.

REFERENCES

1. Muscolo, A.; Mariateresa, O.; Giulio, T.; Mariateresa, R. Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases. *International Journal of Molecular Sciences* 2024, Vol. 25, **2024**, 25, doi:10.3390/IJMS25063264.

2. Jomova, K.; Raptova, R.; Alomar, S.Y.; Alwasel, S.H.; Nepovimova, E.; Kuca, K.; Valko, M. Reactive Oxygen Species, Toxicity, Oxidative Stress, and Antioxidants: Chronic Diseases and Aging. *Archives of Toxicology* 2023, 97:10, **2023**, 97, 2499–2574, doi:10.1007/S00204-023-03562-9.
3. Shahidi, F.; Yeo, J.D. Bioactivities of Phenolics by Focusing on Suppression of Chronic Diseases: A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 2018, Vol. 19, **2018**, 19, doi:10.3390/IJMS19061573.
4. Cortez-Trejo, M.C.; Olivas-Aguirre, F.J.; Dufoo-Hurtado, E.; Castañeda-Moreno, R.; Villegas-Quintero, H.; Medina-Franco, J.L.; Mendoza, S.; Wall-Medrano, A. Potential Anticancer Activity of Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Fruits of Different Color: In Vitro and In Silico Evidence. *Biomolecules* 2022, Vol. 12, **2022**, 12, doi:10.3390/BIOM12111649.
5. Minutolo, A.; Gismondi, A.; Chirico, R.; Di Marco, G.; Petrone, V.; Fanelli, M.; D'Agostino, A.; Canini, A.; Grelli, S.; Albanese, L.; et al. Antioxidant Phytocomplexes Extracted from Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Using Hydrodynamic Cavitation Show Potential Anticancer Activity In Vitro. *Antioxidants* 2023, Vol. 12, **2023**, 12, doi:10.3390/ANTIOX12081560.
6. Tekin, Z.; Küçükbaş, F. Pomegranate Leaves, Buds, and Flowers: Phytochemical, Antioxidant, and Comparative Solvent Analyzes. *Foods and Raw Materials* **2025**, 13, 155–171, doi:10.21603/2308-4057-2025-1-630.
7. Liu, C.; Wang, N.; Zhang, Y.Y.; Qu, H. tao; Liu, L.X.; Zhang, L.H.; Liu, Y.G. Pomegranate: Historical Origins, Nutritional Composition, Health Functions and Processing Development Research. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2025**, 65, 8447–8469, doi:10.1080/10408398.2025.2500676.
8. Bernini, R.; Campo, M.; Cassiani, C.; Fochetti, A.; Ieri, F.; Lombardi, A.; Urciuoli, S.; Vignolini, P.; Villanova, N.; Vita, C. Polyphenol-Rich from Agroindustrial Waste and Byproducts: Results and Perspectives According to the Green Chemistry and Circular Economy. *J. Agric. Food Chem.* **2024**, 72, 12871–12895, doi:10.1021/ACS.JAFC.4C00945.
9. Toprakçı, İ.; Kurtulbaş, E.; Şahin, S. Chemometric Tools to Comprehend a Recovery Process for the Bioactive Ingredients from Purple Basil (*Ocimum Basilicum* L.): Box-Behnken Design-Based Optimization and Principal Component Analysis. *J. Pharm. Biomed. Anal.* **2025**, 256, 116676, doi:10.1016/J.JPBA.2025.116676.
10. Toprakçı, İ.; Balci-Torun, F.; Deniz, N.G.; Ortaboy, S.; Torun, M.; Şahin, S. Recovery of Citrus Volatile Substances from Orange Juice Waste: Characterization with GC-MS, FTIR, 1H- and 13C-NMR Spectroscopies. *Phytochem. Lett.* **2023**, 57, 177–184, doi:10.1016/J.PHYTOL.2023.08.007.
11. Chelladurai, S.J.S.; Murugan, K.; Ray, A.P.; Upadhyaya, M.; Narasimharaj, V.; Gnanasekaran, S. Optimization of Process Parameters Using Response Surface Methodology: A Review. *Mater. Today Proc.* **2021**, 37, 1301–1304, doi:10.1016/J.MATPR.2020.06.466.
12. Myers, R.H.; Montgomery, D.C.; Anderson-Cook, C.M. Building Empirical Models. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* **2016**, 13–62.
13. Toprakçı, G.; Toprakçı, İ.; Şahin, S. Highly Clean Recovery of Natural Antioxidants from Lemon Peels: Lactic Acid-Based Automatic Solvent Extraction. *Phytochemical Analysis* **2022**, doi:10.1002/PCA.3109.

14. A Malik, N.S.; Bradford, J.M. *Recovery and Stability of Oleuropein and Other Phenolic Compounds during Extraction and Processing of Olive (Olea Europaea L.) Leaves* WFL Publisher Science and Technology; 2005; Vol. 6;.
15. Kurtulbaş Şahin, E.; Bilgin, M.; Şahin, S. Recovery of Anthocyanins from Sour Cherry (*Prunus Cerasus* L.) Peels via Microwave Assisted Extraction: Monitoring the Storage Stability. *Prep. Biochem. Biotechnol.* **2021**, *51*, 686–696, doi:10.1080/10826068.2020.1852418;SUBPAGE:STRING:FULL.
16. Şahin, S. A Novel Technology for Extraction of Phenolic Antioxidants from Mandarin (*Citrus Deliciosa* Tenore) Leaves: Solvent-Free Microwave Extraction. *Korean Journal of Chemical Engineering* **2015**, *32*, 950–957, doi:10.1007/s11814-014-0293-y.
17. Toprakçı, İ.; Torun, M.; Kurtulbaş, E.; Yildiztekin, M.; Şahin, S. Hydrophobic Deep Eutectic Solvent-Derived Curcuminoids Loaded into a Double-Layer Colloidal Delivery System: Physicochemical Properties and In Vitro Biological Activity. *Foods* **2026**, *15*, 2601, doi:10.3390/FOODS15152601.
18. Kurtulbaş, E.; Pekel, A.G.; Bilgin, M.; Makris, D.P.; Şahin, S. Citric Acid-Based Deep Eutectic Solvent for the Anthocyanin Recovery from Hibiscus Sabdariffa through Microwave-Assisted Extraction. *Biomass Convers. Biorefin.* **2020**, *12*, 351–360, doi:10.1007/S13399-020-00606-3/FIGURES/8.
19. Albarri, R.; Şahin, S. Kinetics, Thermodynamics, and Mass Transfer Mechanism of the Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Molecules from Moringa Oleifera Leaves. *Biomass Conversion and Biorefinery 2021* **2021**, *1*, 1–8, doi:10.1007/S13399-021-01686-5.
20. Bashir, M.J.K.; Aziz, H.A.; Yusoff, M.S.; Adlan, Mohd.N. Application of Response Surface Methodology (RSM) for Optimization of Ammoniacal Nitrogen Removal from Semi-Aerobic Landfill Leachate Using Ion Exchange Resin. *Desalination* **2010**, *254*, 154–161, doi:10.1016/J.DESAL.2009.12.002.

KUŞBURNU ÇEKİRDEĞİ EKSTRAKTI YÜKLÜ ALJİNAT MİKROKAPSÜLLER: GASTROİNTESTİNAL SALIM, OKSİDATİF STABİLİTE, KEMOMETRİK DEĞERLENDİRME VE KARAKTERİZASYON

Dr. Öğr. Üyesi İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Kuşburnu çekirdeği, fenolik bileşikler ve antioksidan bileşenler açısından değerli bir bitkisel kaynak olup, bu biyoaktif bileşiklerin korunması ve gıda sistemlerinde etkinliğinin sürdürülebilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, iyonik jelleşme yöntemiyle elde edilen kuşburnu çekirdeği ekstraktı yüklü aljinat mikrokapsüllerin gastrointestinal salım davranışının, bitkisel yağların oksidatif stabilitesi üzerindeki etkisinin, kemometrik olarak değerlendirilmesinin ve morfolojik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Daha önce gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında belirlenen iyonik jelleşme koşulları (%7.98 CaCl₂, %1.66 sodyum aljinat ve 26 dk sertleşme süresi) kullanılarak mikrokapsüller hazırlanmıştır [1]. Mikrokapsüllerden fenolik maddelerin salımı, simüle edilmiş mide sıvısı (SGS, pH 1.5) ve simüle edilmiş bağırsak sıvısı (SBS, pH 7.4) ortamlarında incelenmiştir. SGS ve SBS ortamlarında fenolik madde salımı sırasıyla %84.43 ve %92.56 olarak belirlenmiştir. Mikrokapsüller ayrıca ayçiçek ve mısırözü yağlarına uygulanmış; toplam fenolik madde (TPC), ABTS radikal süpürme aktivitesi ve indüksiyon süresi değerlendirilmiştir. Mikrokapsül uygulamasının her iki yağda da fenolik içeriği ve antioksidan aktiviteyi artırdığı ve oksidatif stabiliteyi geliştirdiği belirlenmiştir. Yağ örneklerinin TPC, ABTS ve indüksiyon süresi sonuçlarının çok değişkenli değerlendirilmesi amacıyla kemometrik bir yaklaşım olarak temel bileşenler analizi (PCA) uygulanmıştır. İlk iki temel bileşen toplam varyansın %98,0'ını açıklamış ve kontrol ile mikrokapsül içeren yağ örnekleri arasında farklılaşma gözlenmiştir. Mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile mikrokapsüllerin morfolojik özellikleri karakterize edilmiştir. Sonuçlar, kuşburnu çekirdeği ekstraktı yüklü aljinat mikrokapsüllerin gastrointestinal salım açısından etkili bir taşıyıcı sistem oluşturduğunu ve bitkisel yağlarda doğal antioksidan katkı olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Kuşburnu çekirdeği; iyonik jelleşme; gastrointestinal salım; oksidatif stabilite; kemometri.

ROSEHIP SEED EXTRACT-LOADED ALGINATE MICROCAPSULES: GASTROINTESTINAL RELEASE, OXIDATIVE STABILITY, CHEMOMETRIC EVALUATION AND CHARACTERIZATION

ABSTRACT

Rosehip seeds are a valuable plant source of phenolic and antioxidant compounds, and the protection of these bioactive compounds and maintenance of their functionality in food systems are of considerable importance. This study aimed to investigate the gastrointestinal release

behavior of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules produced by ionic gelation, their effects on the oxidative stability of vegetable oils, their chemometric evaluation, and their morphological characteristics. The microcapsules were prepared under ionic gelation conditions previously determined through an optimization study (7.98% CaCl_2 , 1.66% sodium alginate, and 26 min hardening time) [1]. The release of phenolic compounds from the microcapsules was investigated in simulated gastric fluid (SGF, pH 1.5) and simulated intestinal fluid (SIF, pH 7.4). Phenolic compound release in SGF and SIF was determined as 84.43% and 92.56%, respectively. The microcapsules were also incorporated into sunflower and corn oils, and total phenolic content (TPC), ABTS radical scavenging activity, and induction time were evaluated. Microcapsule incorporation increased the phenolic content and antioxidant activity and improved the oxidative stability of both oils. Principal component analysis (PCA) was applied as a chemometric approach for the multivariate evaluation of TPC, ABTS, and induction time results of the oil samples. The first two principal components explained 98.0% of the total variance and revealed differentiation between the control and microcapsule-containing oil samples. The morphological characteristics of the microcapsules were characterized using microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The results demonstrate that rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules provide an effective carrier system for gastrointestinal release and have potential for use as a natural antioxidant additive in vegetable oils.

Keywords: Rosehip seed; ionic gelation; gastrointestinal release; oxidative stability; chemometrics.

Introduction

Rosehip (*Rosa canina* L.) is a valuable source of bioactive compounds, including phenolics, carotenoids, tocopherols, and vitamins, with potential applications in food, nutraceutical, and pharmaceutical systems. In particular, the valorization of rosehip processing by-products has gained increasing attention from both functional and sustainability perspectives [2, 3]. Rosehip seeds have also been reported to contain phenolic compounds with considerable antioxidant activity, supporting their potential use as value-added bioactive ingredients [4, 5].

Despite their functional potential, plant-derived phenolic compounds may exhibit limited stability during processing and under gastrointestinal conditions. Encapsulation can protect these compounds against degradation and facilitate their incorporation and delivery in food systems [6, 7]. Among encapsulation techniques, ionic gelation using sodium alginate is particularly attractive due to its mild processing conditions, biocompatibility, and gel-forming ability. Through ionic cross-linking with Ca^{2+} , alginate forms a three-dimensional network capable of entrapping bioactive compounds and modulating their release [8, 9]. In our previous study, the ionic gelation process for rosehip seed extract was optimized, and the optimum conditions were determined as 7.98% CaCl_2 , 1.66% sodium alginate, and 26 min hardening time [1].

Beyond encapsulation, evaluating the gastrointestinal release and food application of the resulting microcapsules is essential for assessing their functional performance. The pH-responsive behavior of alginate can influence the release of encapsulated phenolic compounds under gastric and intestinal conditions [10, 11]. Furthermore, incorporation of phenolic-rich microcapsules into vegetable oils may offer a natural strategy for improving oxidative stability [12, 13]. Morphological characterization provides complementary information on the structural and surface properties of the developed microcapsules, while chemometric approaches such as

principal component analysis (PCA) can facilitate the interpretation of relationships among multiple analytical responses.

Accordingly, the present study aimed to investigate the gastrointestinal release behavior of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules prepared under previously optimized conditions and to evaluate their effects on the oxidative stability of sunflower and corn oils. Total phenolic content (TPC), ABTS radical scavenging activity, and induction time were evaluated using PCA as a chemometric approach, while the morphological characteristics of the microcapsules were examined by microscopy and scanning electron microscopy (SEM).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Plant Material and Chemicals

Rosehip (*Rosa canina* L.) seeds used in this study were obtained from fruits collected in Çankırı, Türkiye, as previously described [1]. Folin-Ciocalteu reagent, ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), Trolox, gallic acid monohydrate, sodium carbonate, and other analytical-grade chemicals were supplied by Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

2.2. Rosehip Seed Extract-Loaded Alginate Microcapsules

Rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules were prepared by ionic gelation according to the procedure previously reported by Toprakçı and Şahin [1]. The previously optimized formulation conditions, consisting of 7.98% (w/v) CaCl_2 , 1.66% (w/v) sodium alginate, and a hardening time of 26 min, were employed in the present study. The resulting microcapsules were used for morphological characterization, gastrointestinal release studies, and application in vegetable oils.

2.3. *In Vitro* Gastrointestinal Release Study

The *in vitro* release behavior of phenolic compounds from rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules was evaluated under simulated gastrointestinal conditions according to the procedure described by Toprakçı et al. [14], with appropriate modifications. Simulated gastric fluid (SGF, pH 1.5) and simulated intestinal fluid (SIF, pH 7.4) were used to investigate the release behavior of the encapsulated phenolic compounds. Samples were incubated under controlled conditions, and aliquots were collected at predetermined time intervals. The phenolic compounds released into the media were determined spectrophotometrically using the Folin-Ciocalteu method, and the release was expressed as a percentage of the total phenolic content of the microcapsules.

2.4. Application of Microcapsules in Vegetable Oils

Rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules were incorporated into sunflower and corn oils to evaluate their potential as natural antioxidant ingredients. The application and subsequent analyses were performed according to the procedure described by Toprakçı et al. [15], with appropriate modifications. Untreated oil samples were used as controls. The effects of microcapsule incorporation on the functional properties and oxidative stability of the oils were evaluated in terms of total phenolic content (TPC), ABTS radical scavenging activity, and induction time. TPC and ABTS radical scavenging activity were determined spectrophotometrically. Oxidative stability was evaluated using a Rancimat 892 instrument (Metrohm) at 140 °C and expressed as induction time (h).

2.5. Chemometric Analysis

Principal component analysis (PCA) was performed for the multivariate evaluation of the vegetable oil samples based on total phenolic content (TPC), ABTS radical scavenging activity, and induction time. Since the variables were expressed in different units and scales, PCA was

conducted based on the correlation matrix. The distribution of the control and microcapsule-containing sunflower and corn oil samples was visualized using a score plot, while the relationships between the samples and analytical variables were evaluated using a biplot. PCA was performed using Minitab statistical software (version 22, Minitab LLC, USA).

2.6. Morphological Characterization

The morphological characteristics of the rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules were evaluated according to the procedure described by Toprakçı et al.[16], with appropriate modifications. Microcapsule images were obtained using a stereo microscope (Stemi 2000-C, Zeiss, Germany) equipped with an AxioCam Erc5 camera. The maximum diameter ($d_{\max}$), minimum diameter ($d_{\min}$), perimeter (P), and area (A) were determined using ZEN lite 2012 software. The sphericity factor (SF) and roundness (Rn) were calculated according to Eqs. (1) and (2), respectively:

$$\text{Sphericity factor (SF)} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\max} + d_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{Roundness (Rn)} = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (2)$$

The surface morphology of the microcapsules was further examined by scanning electron microscopy (SEM; Zeiss LEO 1430, Germany) after coating with a 10 nm gold/palladium layer.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Gastrointestinal Release Behavior

The release behavior of phenolic compounds from rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules under simulated gastrointestinal conditions is presented in Figure 1. Phenolic release was 84.43% in SGF (pH 1.5) and increased to 92.56% in SIF (pH 7.4). Thus, although considerable release occurred under gastric conditions, a higher release was observed in the intestinal medium.

The higher release in SIF can be associated with the pH-responsive behavior of the calcium–alginate matrix. Under acidic conditions, protonation of alginate carboxyl groups may result in a relatively compact network, whereas at intestinal pH, deprotonation and increased electrostatic repulsion between polymer chains promote swelling and relaxation of the matrix, facilitating the diffusion of encapsulated phenolic compounds. Similar pH-dependent behavior has been reported for alginate-based systems, in which changes in matrix structure under gastrointestinal conditions influence the retention and release of encapsulated phenolic compounds [10, 11].

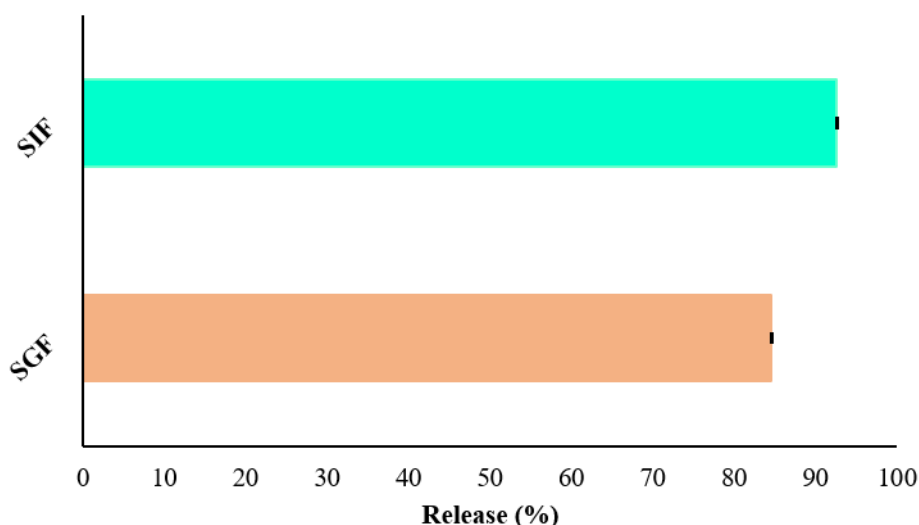


Figure 1. Release of phenolic compounds from rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules under simulated gastric (SGF, pH 1.5) and intestinal (SIF, pH 7.4) conditions. Data are presented as mean $\pm$ standard deviation.

3.2. Effect of Microcapsule Incorporation on Vegetable Oils

The effects of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules on the functional properties and oxidative stability of sunflower and corn oils are presented in Table 1. Microcapsule incorporation resulted in increases in TPC, ABTS radical scavenging activity, and induction time in both vegetable oils..

Table 1. Effect of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules on the functional properties and oxidative stability of vegetable oils.*

Vegetable oil	Treatment	TPC(mg-GAE/g-oil)	ABTS (mg-TEAC/g-oil)	Induction time (h)
Sunflower oil	Control	0.040 $\pm$ 0.001	0.0520 $\pm$ 0.002	0.890 $\pm$ 0.001
	Microcapsules	0.068 $\pm$ 0.003	0.0864 $\pm$ 0.002	1.235 $\pm$ 0.002
Corn oil	Control	0.058 $\pm$ 0.001	0.0280 $\pm$ 0.002	1.085 $\pm$ 0.001
	Microcapsules	0.162 $\pm$ 0.002	0.0405 $\pm$ 0.002	1.430 $\pm$ 0.002

*Data are presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3). TPC, total phenolic content; GAE, gallic acid equivalents; TEAC, Trolox equivalent antioxidant capacity; h, hours.

In sunflower oil, TPC increased from 0.040 to 0.068 mg-GAE/g-oil, corresponding to a 70.0% increase, while ABTS activity increased from 0.0520 to 0.0864 mg-TEAC/g-oil, representing an increase of approximately 66.15%. A more pronounced enhancement in TPC was observed for corn oil, where the value increased from 0.058 to 0.162 mg-GAE/g-oil, corresponding to an increase of approximately 179%. In the same oil, ABTS activity increased from 0.0280 to 0.0405 mg-TEAC/g-oil, representing an increase of approximately 44.64%. These findings indicate that microcapsule incorporation enhanced the phenolic content and antioxidant capacity of both oil systems, which can be attributed to the contribution of phenolic compounds entrapped within the alginate matrix.

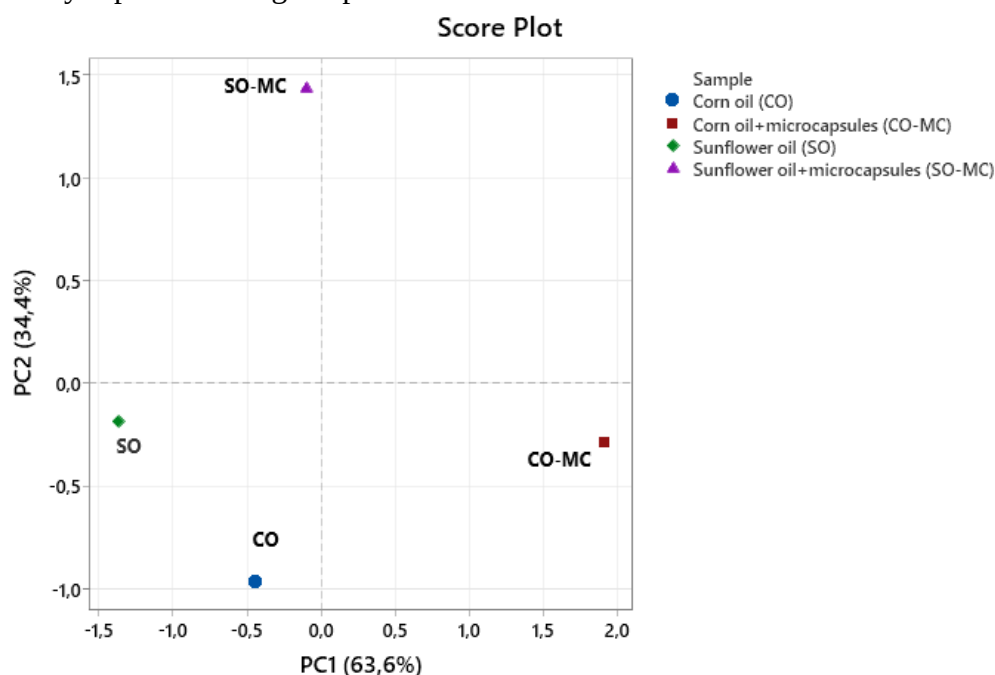
The improvement in bioactive properties was accompanied by enhanced oxidative stability. The induction time of sunflower oil increased from 0.890 to 1.235 h, corresponding to an improvement of 38.76%, while that of corn oil increased from 1.085 to 1.430 h, representing

an increase of approximately 31.80%. The increase in induction time indicates greater resistance of the oils to oxidative deterioration. The simultaneous increases in TPC, antioxidant activity, and induction time suggest that the phenolic compounds delivered by the microcapsules contributed to delaying lipid oxidation and improving the oxidative stability of the vegetable oils. Similar protective effects have been reported for plant-derived antioxidants incorporated into alginate-based carriers and applied to lipid systems [17, 18].

3.3. Principal Component Analysis

Principal component analysis (PCA) was performed to provide an integrated evaluation of TPC, ABTS radical scavenging activity, and induction time in the vegetable oil samples. The first two principal components explained 98.0% of the total variance, with PC1 and PC2 accounting for 63.6% and 34.4%, respectively. Thus, the two-dimensional PCA representation retained nearly all of the variability in the original dataset (Figure 2).

The score plot (Figure 2a) revealed a clear separation among sunflower oil (SO), sunflower oil containing microcapsules (SO-MC), corn oil (CO), and corn oil containing microcapsules (CO-MC). Both SO-MC and CO-MC were distinctly displaced from their corresponding controls, demonstrating that microcapsule incorporation altered the overall analytical profiles of both oils. Notably, CO-MC was positioned strongly on the positive side of PC1, whereas SO-MC was primarily separated along the positive PC2 direction.



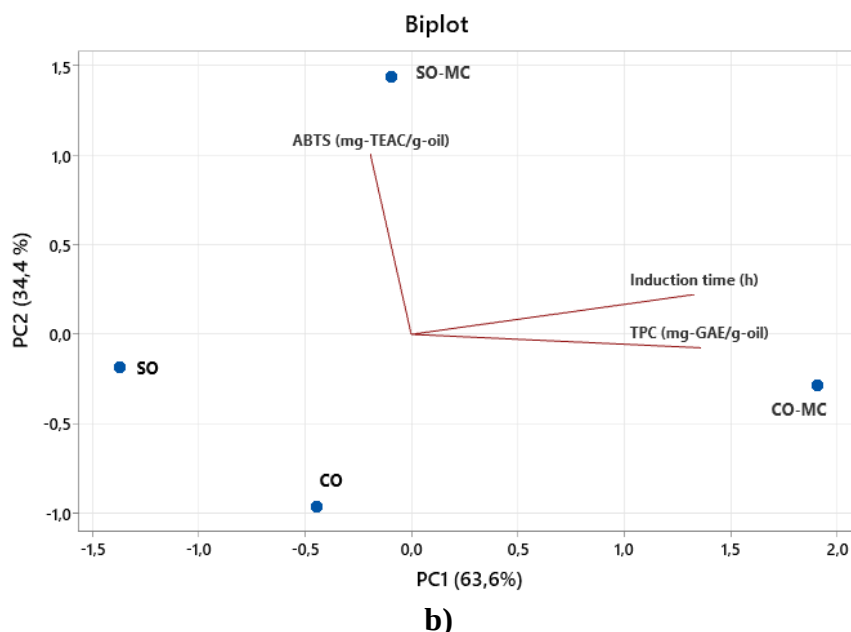


Figure 2. Principal component analysis of control and rosehip seed extract-loaded alginate microcapsule-containing vegetable oils: (a) score plot and (b) biplot based on TPC, ABTS radical scavenging activity, and induction time*.

Abbreviations: SO, sunflower oil; SO-MC, sunflower oil containing microcapsules; CO, corn oil; CO-MC, corn oil containing microcapsules; TPC, total phenolic content; ABTS, ABTS radical scavenging activity.

The loading pattern provided further insight into the variables responsible for this differentiation. TPC (0.711) and induction time (0.696) showed high and similar positive loadings on PC1, indicating that these variables contributed together to the separation along the first principal component. Their close orientation in the biplot (Figure 2b) further suggests a positive association between phenolic content and oxidative stability. Accordingly, the position of CO-MC on the positive PC1 axis was consistent with its pronounced TPC and induction time values (Table 1). In contrast, ABTS exhibited a strong positive loading on PC2 (0.974) and was the major contributor to the second principal component. The position of SO-MC toward positive PC2 was therefore consistent with the marked increase in ABTS activity observed following microcapsule incorporation into sunflower oil.

Overall, PCA clearly distinguished the microcapsule-containing oils from their respective controls. The differentiation of CO-MC was mainly associated with TPC and induction time, whereas SO-MC was predominantly characterized by ABTS activity, highlighting distinct responses of the two oil matrices to microcapsule incorporation.

3.4. Morphological Characterization

The morphological characteristics of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules were evaluated by stereomicroscopy and scanning electron microscopy (SEM). The minimum diameter ($d_{\min}$), mean diameter (d_{mean}), and maximum diameter ($d_{\max}$) of the microcapsules were determined as 0.156 ± 0.003 , 0.160 ± 0.012 , and 0.166 ± 0.004 mm, respectively. Microscopic image analysis yielded a sphericity factor (SF) of 0.0280 ± 0.0090 and a roundness (Rn) value of 1.1930 ± 0.0070 . The SF value was below 0.05, indicating a high degree of sphericity, while the Rn value, relatively close to the ideal value of 1, further supported the generally rounded

morphology of the microcapsules. The narrow difference between $d_{\min}$ and $d_{\max}$ also indicated relatively uniform particle dimensions.

The stereomicroscopic images (Figure 3) showed microcapsules with relatively uniform dimensions and predominantly rounded shapes, consistent with the quantitative morphological parameters.

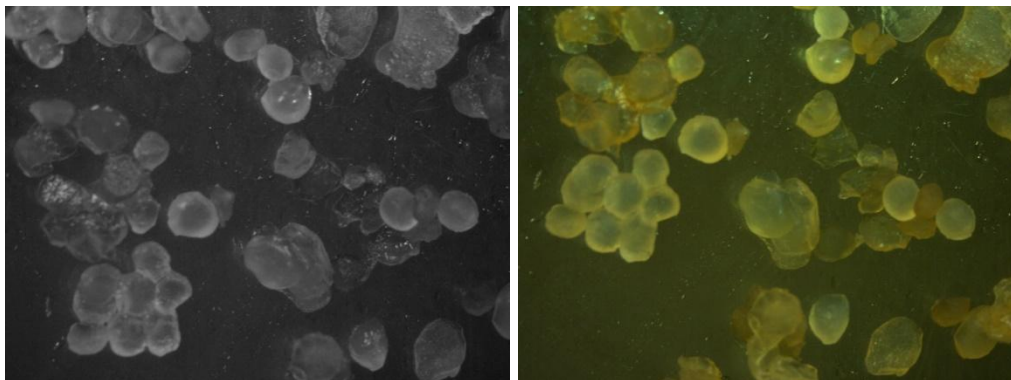


Figure 3. Stereomicroscopic images of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules prepared under optimum ionic gelation conditions.

SEM analysis provided further information on the external morphology and surface characteristics of the microcapsules (Figure 4).

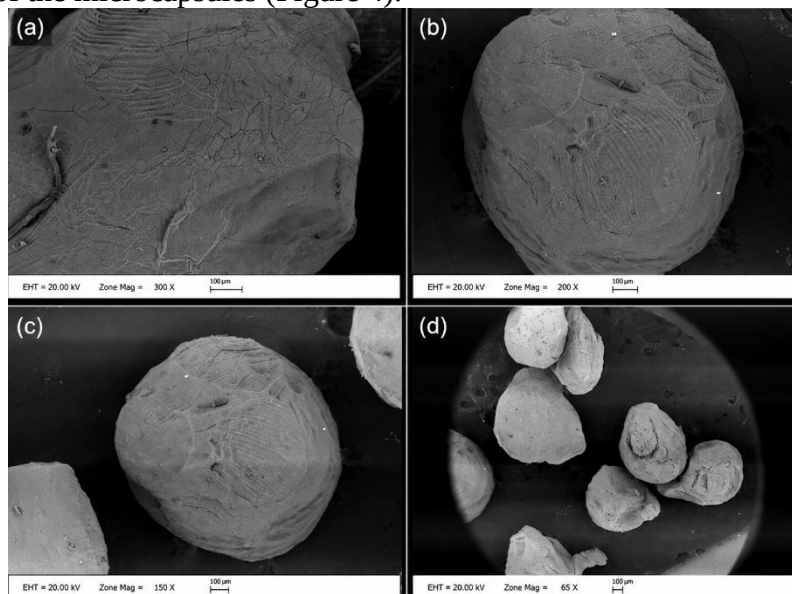


Figure 4. SEM images of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules prepared under optimum ionic gelation conditions at different magnifications: (a) 300x, (b) 200x, (c) 150x, and (d) 65x.

At lower magnification (65x), the microcapsules exhibited a generally rounded morphology, although some variation in particle shape was observed. At intermediate magnifications (150x and 200x), the individual particles showed a relatively compact structure with an irregular surface texture. At the highest magnification (300x), wrinkles, grooves, and slight surface cracks became more evident. Similar surface characteristics, including wrinkles, roughness, and

cracks, have been reported for dried alginate-based microcapsules. These surface irregularities may result from water loss and shrinkage of the alginate matrix during the drying process [19].

4. Conclusions

This study demonstrated the functionality of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules beyond the optimization of the encapsulation process by evaluating their gastrointestinal release behavior and performance in vegetable oil systems. The microcapsules exhibited substantial phenolic release under simulated gastrointestinal conditions, with a higher release in the intestinal medium. Their incorporation into sunflower and corn oils enhanced phenolic content and antioxidant activity while increasing resistance to oxidative deterioration. The multivariate evaluation by PCA supported these changes and clearly differentiated the microcapsule-containing oils from their respective controls. In addition, morphological characterization revealed relatively uniform and predominantly rounded microcapsules, while SEM analysis showed an irregular and wrinkled surface with grooves and slight cracks. Overall, the results extend the potential use of rosehip seed extract-loaded alginate microcapsules from a bioactive delivery system to a functional ingredient for improving the oxidative stability of vegetable oils.

REFERENCES

1. Toprakçı İ, Şahin S (2022) Encapsulation of roseship seed extract in alginate based microbeads: Optimization of ionic gelation system by response surface method. In: The Eighth International Mediterranean Symposium on Medicinal and Aromatic Plants (MESMAP-8), Abstracts & Proceedings Book,. pp 194–203
2. Negrean OR, Farcas AC, Nemes SA, et al (2024) Recent advances and insights into the bioactive properties and applications of *Rosa canina* L. and its by-products. *Heliyon* 10:e30816. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30816>
3. Ousaaïd D, Laaroussi H, Kamari F El, et al (2025) Phytoactive compounds, chemical and biological functionalities of *Rosa canina* L.: a review. *Discover Plants* 2025 2:1 2:258-. <https://doi.org/10.1007/S44372-025-00293-2>
4. Kılınç K, Aygöl İ, Akmeşe O, et al (2025) Evaluation of antioxidant, antimicrobial, and α -amylase enzyme inhibition properties of *Rosa canina* seed extracts prepared with different solvents using maceration and ultrasound-assisted extraction methods. *Turkish Journal of Analytical Chemistry* 7:85–96. <https://doi.org/10.51435/TURKJAC.1643744>
5. Stryjecka M, Kiełtyka-Dadasiewicz A, Michalak M (2024) Physico-Chemical Characteristics of *Rosa canina* L. Seeds and Determining Their Potential Use. *Applied Sciences* 2025, Vol 15, Page 168 15:168. <https://doi.org/10.3390/APP15010168>
6. Ozkan G, Ceyhan T, Çatalkaya G, et al (2024) Encapsulated phenolic compounds: clinical efficacy of a novel delivery method. *Phytochemistry Reviews* 2024 23:3 23:781–819. <https://doi.org/10.1007/S11101-023-09909-5>
7. Kalita P, Chakrabarti S, Bhattacharjee B, et al (2025) Recent progress in improving delivery, bioavailability and bioactivity of polyphenolic compounds through encapsulation: A comprehensive review. *Food Chem* 490:145087. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.145087>
8. Colin C, Akpo E, Perrin A, et al (2024) Encapsulation in Alginates Hydrogels and Controlled Release: An Overview. *Molecules* 2024, Vol 29, Page 2515 29:2515. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES29112515>

9. Zhao Q, Chen X, Ji W, et al (2025) From lab to table: Recent advances in the application of sodium alginate-based hydrogel beads in the food industry. *Food Research International* 217:.. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116843>
10. Barutçu Mazi I, Yildiz D, Mazi BG (2026) Alginate-Based Encapsulation of Phenolic Compounds: Insights Into Gastrointestinal Stability, Release Behavior, and Bioaccessibility. *Mol Nutr Food Res* 70:.. <https://doi.org/10.1002/MNFR.70505>
11. Dasgupta S, Noor A (2025) Citrus sinensis enriched polyphenols loaded alginate microspheres: Characterization, stability, in vitro release, bio-accessibility, and biological activities. *Food Biosci* 68:106743. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.106743>
12. Molaveisi M, Shi Q (2024) Enhancement of oxidative stability of camelina oil via Alyssum homolocarpum seed gum/sodium alginate-based microcapsules loaded with Echinacea purpurea (L.) extract. *Int J Biol Macromol* 279:135214. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.135214>
13. Alshehri AA, Kamel RM, Gamal H, et al (2024) Sodium alginate films incorporated with Lepidium sativum (Garden cress) extract as a novel method to enhancement the oxidative stability of edible oil. *Int J Biol Macromol* 265:130949. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.130949>
14. Toprakçı İ, Güngör KK, Torun M, Şahin S (2024) Spray-drying microencapsulation of plum peel bioactives using Arabic gum and maltodextrin as coating matrix. *Food Biosci* 61:104824. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2024.104824>
15. Toprakçı İ, Kurtulbaş E, Şahin S (2024) Fabrication of Hibiscus sabdariffa L. microparticles in Arabic gum and maltodextrin: multivariate optimization, chemometric analysis, simulated gastrointestinal digestion, and application as functional food ingredient. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2024 15:9 15:13667–13679. <https://doi.org/10.1007/S13399-024-06049-4>
16. Toprakçı İ, Torun M, Şahin S (2023) Encapsulation of plum biowaste extract: design of alginate beads by response surface approach. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2023 17:3 17:2676–2687. <https://doi.org/10.1007/S11694-023-01826-7>
17. Piechowiak T, Balawejder M (2026) Freeze-dried alginate beads as carriers of plant-based antioxidants to enhance the oxidative stability of cold-pressed linseed oil. *J Stored Prod Res* 115:102824. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2025.102824>
18. Tsitlakidou P, Kamplioni D, Kyriakoudi A, et al (2024) Antioxidant-Enhanced Alginate Beads for Stabilizing Rapeseed Oil: Utilizing Extracts from Post-Distillation Waste Residues of Rosemary. *Foods* 2024, Vol 13, Page 2142 13:2142. <https://doi.org/10.3390/FOODS13132142>
19. Martinović J, Lukinac J, Jukić M, et al (2023) The Release of Grape Pomace Phenolics from Alginate-Based Microbeads during Simulated Digestion In Vitro: The Influence of Coatings and Drying Method. *Gels* 9:870. <https://doi.org/10.3390/GELS9110870/S1>

HİBRİT DERİN ÖTEKTİK ÇÖZÜCÜ-SUPRAMOLEKÜLER ÇÖZÜCÜ (DES-SUPRAS) SİSTEMLERİ: BİYOAKTİF BİLEŞİK EKSTRAKSİYONUNDA GELİŞMEKTE OLAN BİR STRATEJİ

Assoc. Prof. Dr. Ebru KURTULBAŞ ŞAHİN

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-2241-2562

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Derin ötektik çözücüler (DES), ayarlanabilir polariteleri, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ve hidrojen bağına dayalı çözünme özellikleri nedeniyle geleneksel organik çözücülere sürdürülebilir alternatifler olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Başlıca dezavantajları, tek başlarına kullanıldıklarında ekstraksiyon verimliliğini kısıtlayan yüksek viskozite ve belirli analit sınıflarına karşı sınırlı seçicilikleridir. Süpramoleküler çözücüler (SUPRAS), amfifilik yapı taşlarının koaservasyonu ile oluşan kendiliğinden birleşen, nanoyapılı sıvılardır; daha yüksek seçicilik, ön konsantrasyon yeteneği ve kromatografik analizle uyumluluk sunarlar. DES ve SUPRAS'ı hibrit sistemlerde birleştirmek, DES'in yeşil çözücü karakterini SUPRAS'ın kendiliğinden birleşmesinin seçiciliğiyle bir araya getiren ve her sistemin kendi başına sahip olduğu sınırlamaları ele alan yeni bir stratejidir. Bu derleme, DES-SUPRAS hibrit ekstraksiyon sistemleri üzerine son literatürü sentezlemektedir. Oluşum mekanizmaları, koaservasyonu yöneten fiziko-kimyasal parametreler (pH, iyonik güç, amfifil konsantrasyonu) ve bitki matrislerinden fenolik bileşikler, antosiyaninler ve diğer biyoaktif metabolitlerin ekstraksiyonu için bildirilen performansları değerlendirmektedir. Antosiyaninlerin pH ve sıcaklığa karşı yüksek duyarlılığı, bu bileşiklerin ekstraksiyonunda çözücü seçiminin ve işlem koşullarının özellikle kritik olduğunu göstermektedir. Ekstraksiyon verimlilikleri, geri kazanım verimleri ve yeşillik ölçütleri (örneğin, GAPI, AGREE), geleneksel ve tek çözücülü yeşil ekstraksiyon yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, farklı çalışmalar arasında standart karşılaştırma kriterlerinin eksikliği, alandaki bulguların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini güçleştiren bir diğer önemli noktadır. Umut vadeden ön bulgulara rağmen, DES-SUPRAS sistemleri üzerine literatür hâlâ sınırlı olup, alanın gelişiminin erken bir aşamasında olduğunu göstermektedir. Bu derleme, şu anda bilinenleri bir araya getirmekte, literatürdeki ana boşlukları ortaya koymakta ve gelecekteki çalışmalar için yönlendirmeler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Derin ötektik çözücüler, supramoleküler çözücüler, hibrit ekstraksiyon, biyoaktif bileşikler, yeşil kimya.

HYBRID DEEP EUTECTIC SOLVENT-SUPRAMOLECULAR SOLVENT (DES-SUPRAS) SYSTEMS: AN EMERGING STRATEGY FOR BIOACTIVE COMPOUND EXTRACTION

ABSTRACT

Deep eutectic solvents (DES) are increasingly used as sustainable alternatives to conventional organic solvents owing to their tunable polarity, biodegradability, and hydrogen-bonding-based solubilization. Their main drawbacks are high viscosity and limited selectivity toward certain analyte classes, which restrict extraction efficiency when they are used alone. Supramolecular solvents (SUPRAS) are self-assembled, nanostructured liquids formed by coacervation of amphiphilic building blocks. They offer higher selectivity, pre-concentration ability, and compatibility with chromatographic analysis. Combining DES and SUPRAS into hybrid systems is a recent strategy that brings together the green solvent character of DES with the selectivity of SUPRAS self-assembly, addressing the limitations of each system on its own.

This review synthesizes recent literature on DES-SUPRAS hybrid extraction systems: their formation mechanisms, the physicochemical parameters that govern coacervation and their reported performance for extracting phenolic compounds, anthocyanins, and other bioactive metabolites from plant matrices. Extraction efficiencies, recovery yields, and greenness metrics (e.g., GAPI, AGREE) are compared with conventional and single-solvent green extraction methods.

Despite promising preliminary findings, the literature on DES-SUPRAS systems is still limited and scattered, suggesting that the field is at an early stage of development. This review brings together what is currently known, points out the main gaps in the literature, and outlines directions for future work.

Keywords: Deep eutectic solvents, supramolecular solvents, hybrid extraction, bioactive compounds, green chemistry.

1. Introduction

The emergence of DES and SUPRAS as green solvents has reshaped the landscape of extraction science. Deep eutectic solvents (DES) were proposed as a tunable class of hydrogen-bonded solvent systems formed by mixing a hydrogen-bond donor and a hydrogen-bond acceptor to yield a liquid phase at markedly depressed melting points relative to the constituents. Their chemistry is highly adaptable: by selecting different HBD/HBA pairs and adjusting molar ratios, DESs offer adjustable polarity, viscosity, and solvation capabilities, enabling targeted extraction environments with reduced toxicity and enhanced biodegradability compared with many conventional solvents (Barhate et al., 2026; Carasek et al., 2019). In parallel, supramolecular solvents (SUPRAS) arise from the self-assembly of amphiphiles into nanoscale, water-immiscible liquids whose composition and nanostructure can be tailored to influence selectivity and extraction efficiency across diverse analytes (Carasek et al., 2019; Sánchez-Vallejo et al., 2022). The combination of amphiphile-driven self-assembly with external triggers (pH, temperature, electrolytes) underpins SUPRAS' versatility in dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) and related microextraction formats (Birk et al., 2023; Carasek et al., 2019; Sánchez-Vallejo et al., 2022).

In green analytical chemistry, DESs, NADESs (natural DESs) and SUPRASs are often talked about as greener choices than traditional halogenated organic solvents in DLLME and related microextraction methods. This is because they are less toxic, can be broken down more easily, and don't need more solvent (Grau et al., 2022; Schuur et al., 2021). Reviews emphasise the

paradigm shift away from chlorinated and volatile solvents towards designer, low-toxicity phases that maintain or improve extraction performance in LLME/LPME workflows (Yılmaz et al., 2016). However, practical discussions consistently highlight ongoing challenges, such as limitations in mass transfer due to viscosity, phase separation control and instrument compatibility. These challenges motivate continued innovation and hybrid strategies (Baig et al., 2026).

Combining DES and SUPRAS, sometimes called SUPRA-DES, is one attempt to bring the two classes' strengths together. DES contributes a tunable hydrogen-bond network and adjustable polarity for solvating a range of analytes; SUPRAS contributes a nanostructured, amphiphile-based medium that can improve selectivity and phase behavior in green microextraction (Carasek et al., 2019; Triolo et al., 2023; Zafar et al., 2022). DES and SUPRAS each face distinct challenges; DES often has issues with viscosity and dispersion, whereas SUPRAS frequently encounters difficulties with phase separation and compatibility. By integrating these, it is possible to mitigate these problems, resulting in a more effective solvation network for complex matrices (Carasek et al., 2019; Triolo et al., 2023). Some early studies already report improved extraction efficiency for polyphenols and other bioactives when DES components interact with SUPRAS structures, which is the main evidence behind the hybrid approach so far.

This mini-review brings together what is currently known about DES and SUPRAS in green extraction, sets out where each class falls short on its own in DLLME and related microextraction formats, and lays out the reasoning behind DES-SUPRAS hybrids as a way to improve extraction efficiency, selectivity, and sustainability in food, environmental, and bioanalytical matrices. It situates DES and SUPRAS within the broader development of green microextraction methods and points to open questions, phase-behavior optimization, mechanistic understanding, and scalability, that still need resolving before DES-SUPRAS hybrids move from laboratory demonstrations to routine analytical use.

2. Deep Eutectic Solvents and Supramolecular Solvents: Complementary Extraction Platforms

2.1. DES: Solubilization via Adjustable Hydrogen-Bond Networks

The defining characteristic of DES extraction performance is that the inter-component hydrogen bond network directly shapes analyte-solvent interactions. Polarity, viscosity, and hydrogen bond donor/acceptor capacity can be systematically adjusted by selecting the HBD/HBA pair and changing its molar ratio; this transforms DES from a single "solvent class" into a platform customizable to the target analyte (Barhate et al., 2026; Carasek et al., 2019). This tunability has been repeatedly emphasized in the literature for its selective solubilization capabilities for phenolic compounds, anthocyanins, and other polar-to-intermediate polarity metabolites.

However, the price of this flexibility is viscosity. Especially in DES systems containing sugar or polyol-based HBDs, high viscosity limits mass transfer rate, reduces diffusion coefficients, and slows down extraction kinetics (Baig et al., 2026). In practice, this problem is usually overcome with auxiliary techniques such as dilution, increased temperature, or ultrasonication. However, these solutions come at the cost of partially compensating for the inherent structural advantage of the solvent (low vapor pressure, low toxicity). Therefore, the fundamental limitation of DES is this trade-off between solubility capacity and practical applicability.

2.2. SUPRAS: Self-Organization and Selectivity

SUPRAS systems operate through a different mechanism. These solvents, formed by the spontaneous organization of amphiphilic building blocks via coacervation, produce a nanostructured, water-separable liquid phase (Carasek et al., 2019; Sánchez-Vallejo et al., 2022). The determining parameter here is not hydrogen bond strength, but the aggregation geometry of the amphiphilic molecules and the external conditions triggering this geometry (pH, temperature, ionic strength) (Birk et al., 2023). This control point gives SUPRAS two important advantages: (i) high selectivity thanks to the optimization of the nanostructure according to the analyte class, and (ii) a strong preconcentration capacity due to the small volume of the coacervat phase. These properties make SUPRAS particularly prominent in DLLME-based microextraction formats and sample preparation steps compatible with chromatographic analysis. The limitation of SUPRAS, however, is the sensitivity of its phase behavior. Small deviations in exogenous parameters triggering coacervation can impair the reproducibility of phase separation, which is a factor that challenges method reliability, especially in complex matrices (such as those with high lipid or fiber content) (Carasek et al., 2019).

2.3. Mechanistic Comparison and the Logic of Combination

When we place DES and SUPRAS side by side, we actually encounter two different physical organizational principles that complement each other: DES offers a homogeneous solubilization environment at the macroscopic scale via a non-covalent hydrogen bond network; while SUPRAS offers a heterogeneous, nanostructured selectivity environment at the microscopic scale through amphiphilic aggregation. These two mechanisms are not alternatives to each other, but complementary elements that cover each other's weaknesses:

The high viscosity of DES and the associated limited mass transfer can be balanced by the rapid and selective analyte transfer provided by the nanostructured, low-volume phase of SUPRAS (Accioni et al., 2018)

The sensitivity and reproducibility problem in the phase behavior of SUPRAS can be reduced by providing a more controlled coacervation environment thanks to the tunable polarity and hydrogen bond donor/acceptor balance of DES (Aparicio-Ibáñez et al., 2026; Cai et al., 2023). The interaction of DES components (especially sugar, polyol, or organic acid-based HBDs) with amphiphilic building blocks can modulate the internal structure of the coacervat phase, thereby increasing both selectivity and extraction efficiency; this is a common denominator of early findings reported in the literature.

3. DES-SUPRAS Hybrid Systems: Formation, Mechanisms and Extraction Performance

3.1. Formation and operating principles of hybrid DES-SUPRAS systems

Supramolecular deep eutectic solvents (SUPRADES) are an approach that combines the molecular recognition capacity of supramolecular systems with the tunable solvent properties of DES. The SUPRADES concept is defined as a distinct subclass of DES containing cyclodextrin (CD); where CD can act either as a hydrogen bond acceptor in binary systems or as a supramolecular additive in ternary DES formulations (Makoś-Chełstowska et al., 2024). The resulting system combines the hydrogen bond interactions responsible for eutectic formation with the inclusion capacity of the CD cavity, thus enabling additional non-covalent interactions with target molecules (Georgantzi et al., 2017; Makoś-Chełstowska et al., 2024). The physicochemical properties of these systems depend on the identity and molar ratio of the DES components, the CD type and concentration, and the water content; relatively small changes in composition can significantly alter viscosity, hydrophilicity, phase behavior, and extraction performance (Makoś-Chełstowska et al., 2024). Therefore, SUPRADES can be

considered not simply a summation of DES and conventional SUPRAS, but a distinct class of hybrid solvents where host-guest chemistry operates together in the same extraction medium through eutectic interactions.

3.2. Extraction Mechanism

The extraction mechanism of these systems goes beyond solubility alone. The DES component provides a hydrogen bond-rich environment that can interact with polar and semi-polar compounds, while the cyclodextrin component contributes to molecular recognition via host-guest inclusion complexes (Georgantzi et al., 2017; Huang et al., 2025). The relatively hydrophobic cavity and hydrophilic outer surface of CD can interact with molecules of suitable size, geometry, and hydrophobicity, increasing the apparent solubility and stability of these molecules in the extraction medium (Georgantzi et al., 2017). Accordingly, the extraction of bioactive compounds can be a result of the combined contribution of DES-induced solvation and CD-induced inclusion. Extraction performance is also affected by water content, temperature, extraction time, and solid/liquid ratio. Water can improve mass transfer by reducing the viscosity of DES-based systems; However, excessive water content can disrupt the interactions responsible for the eutectic and supramolecular structure. Therefore, optimization of SUPRADES extraction requires striking a balance between solvent fluidity, analyte-solvent interaction, and the preservation of supramolecular organization.

Experimental studies have provided early evidence that the incorporation of cyclodextrins into DES-based extraction media can modify the recovery of plant-derived polyphenols. Georgantzi et al. (Georgantzi et al., 2017) investigated a series of L-lactic acid-based DESs for the ultrasound-assisted extraction of polyphenols from selected native Greek medicinal plants and evaluated β -cyclodextrin (β -CD) as an extraction enhancer. DESs based on L-lactic acid:nicotinamide and L-lactic acid:L-alanine (7:1) produced promising total polyphenol yields, while the addition of β -CD to an L-lactic acid:ammonium acetate (7:1) system resulted in total polyphenol yields that were, in some cases, comparable to or higher than those obtained with the corresponding DES alone. However, the effect was less pronounced and less consistent when total flavonoid recovery was considered, indicating that the contribution of β -CD is strongly dependent on the target compound class and extraction system. This early study is particularly relevant to the development of supramolecular DES-based extraction because it demonstrates that incorporating a cyclodextrin host into a DES can alter extraction performance through interactions beyond those provided by the eutectic solvent itself.

Despite these promising findings, the current evidence is not yet sufficient to support the conclusion that hybrid DES-SUPRAS/SUPRADES systems are generally superior to conventional DES, SUPRAS, or organic solvents. Current studies are limited in number and quite different from each other in terms of solvent composition, supramolecular component, target analyte, plant matrix and extraction methodology (Huang et al., 2025; Makoś-Chelstowska et al., 2024). Furthermore, while some of the reported advantages are supported by direct experimental comparisons, others are largely based on proposed mechanisms such as increased hydrogen bonding or host-guest complexation. The physicochemical characterization of SUPRADES is also still lacking; viscosity, water content, density, thermal properties, toxicity and biodegradability are not systematically reported across studies (Huang et al., 2025). In some formulations, high viscosity and hydrophilicity can limit mass transfer and extraction efficiency. This suggests that future studies should focus on establishing quantitative structure-property-performance relationships and standardized comparisons with optimized DES and SUPRAS systems. However, such studies without systematic evaluations, it is not possible to

say whether combining eutectic solvent chemistry with supramolecular recognition provides a reproducible advantage in the selective extraction and enrichment of bioactive compounds.

4. Advantages, Limitations, and Greenness of DES-SUPRAS Extraction

4.1 Scope and evidentiary basis

Hybrid DES-SUPRAS systems combine the tunable solvation properties of deep eutectic solvents with the host-guest recognition and self-assembly behavior of supramolecular components, most commonly CDs. The literature base for this specific combination is still narrow: most primary studies report CD-based SUPRADES applied to a single matrix or target class, and very few studies place DES-SUPRAS hybrids in direct, quantitative comparison against conventional DES or conventional SUPRAS under identical conditions. This section synthesizes the available primary evidence and flags, explicitly, where a claim is supported by only one or two studies or where quantitative data (enrichment factor, distribution ratio, extraction yield) are not reported in the cited source.

4.2 Extraction efficiency and selectivity

Reviews of SUPRADES report improved extraction efficiency and selectivity relative to conventional DES or SUPRAS in several matrices attributed to host-guest interactions and the tunability of CD cavity size (Huang et al., 2025; Janicka et al., 2022; Makoś-Chełstowska et al., 2024). Mechanistically, CD inclusion within the DES matrix appears to be the operative selectivity driver: supramolecular components have been shown to discriminate specific analytes via host-guest interactions and hydrogen bonding, most directly demonstrated where a β -cyclodextrin/citric-acid SUPRADES functioned as a chiral selector in capillary electrophoresis, resolving nefopam and cathinone enantiomers (Ioannou et al., 2024). This is strong mechanistic evidence for selectivity in a supramolecular DES environment, but it is a separation (electrophoresis), not a liquid-liquid or solid-liquid extraction result, so it should not be generalized to extraction yield without further support.

Where DES-SUPRAS hybrids have been used directly for compound extraction; curcuminoid recovery combined with biopolymer stabilization (Aimone et al., 2026), and CD-based deep eutectic supramolecular polymers for extraction-linked material integration (J. Zhang et al., 2023) the reported advantage is process integration rather than a standalone enrichment factor or extraction yield benchmarked against DES alone. Quantitative extraction performance (EE%, yield, distribution ratio) for DES-SUPRAS hybrids is not consistently reported across the primary literature currently available, and this should be stated as a limitation of the evidence base rather than smoothed over.

4.3 Stability of labile bioactives

SUPRADES formulations have been reported to reduce degradation of curcuminoids during storage and processing relative to DES alone, attributed to supramolecular encapsulation and reduced water activity in CD-containing DES (Janicka et al., 2022). This is a single-study finding tied to one target compound class and should be presented as preliminary rather than a general property of DES-SUPRAS hybrids.

4.4 Practical limitations

Viscosity constitutes a primary determinant of mass transfer in DES-based extraction, as it governs solute diffusivity within the solvent phase. The incorporation of a supramolecular component alters this parameter in a manner strongly dependent on formulation composition and water content, with consequences for mass transfer that may be either favorable or

detrimental depending on the system. Across the reviewed literature, water content is repeatedly identified as the critical variable governing both DES viscosity and the structural integrity of the supramolecular assembly (Janicka et al., 2022; Makoś-Chelstowska et al., 2024; Zhou et al., 2024).

With respect to solvent recovery, regeneration has been demonstrated for a β -cyclodextrin-modified DES employed in metal recovery, specifically through reverse extraction of Co^{2+} and Ni^{2+} from spent lithium-ion batteries (Y. Zhang et al., 2026). This system, however, addresses metal recovery rather than bioactive-compound extraction, and recyclability data for DES-SUPRAS hybrids applied to bioactive extraction are essentially absent from the primary literature identified to date. A further constraint concerns reproducibility: batch-to-batch consistency in these systems depends critically on the precise DES-to-cyclodextrin ratio and water content, yet standardized preparation protocols have not been established across studies. Finally, evidence for DES-SUPRAS hybrids in bioactive extraction remains confined to the laboratory scale, with no pilot- or industrial-scale demonstration identified in the literature reviewed (Aimone et al., 2026; J. Zhang et al., 2023).

4.5 Toxicity and Green-Chemistry Assessment

Although GAPI and AGREE metrics are well established for evaluating DES-based and SUPRAS-based methods independently, none of the primary studies on DES-SUPRAS hybrid extraction identified in this review report an explicit GAPI or AGREE score. This represents a notable gap in the greenness evaluation of these systems. Moreover, the low volatility typically invoked to justify the "green" designation of DES does not, in itself, establish low toxicity or a favorable life-cycle profile; this distinction remains unaddressed quantitatively for any DES-SUPRAS hybrid within the literature reviewed (Gui et al., 2025; Janicka et al., 2022; Y. Zhang et al., 2026). Consequently, current greenness claims regarding DES-SUPRAS hybrids remain largely qualitative in nature, and should be presented accordingly; the formal greenness scoring of these systems constitutes an outstanding task rather than a resolved one.

5. Conclusions and Future Perspectives

The evidence reviewed here supports a coherent mechanistic rationale for DES-SUPRAS hybridization, in which the tunable hydrogen-bond-driven solvation of DES compensates for the phase-behavior sensitivity of SUPRAS, while the host-guest selectivity of the supramolecular component addresses the viscosity-limited mass transfer that constrains DES used alone. This logic, however, currently outpaces the empirical evidence. The primary literature remains limited to a small number of matrix- and analyte-specific studies that differ substantially in solvent composition and extraction protocol, and few provide direct, quantitative comparison against conventional DES or SUPRAS. Physicochemical characterization is likewise incomplete: viscosity, water content, thermal stability, toxicity, and biodegradability are inconsistently reported, no standardized DES-to-cyclodextrin preparation protocol exists, and no DES-SUPRAS hybrid study identified in this review reports a formal GAPI or AGREE greenness score. The field should therefore be regarded as mechanistically promising but empirically preliminary, and claims of hybrid superiority should be treated as system-specific rather than general until demonstrated more broadly.

Advancing the field will require progress on several interconnected fronts. Mechanistic understanding needs to move beyond inference from extraction-yield differences toward direct spectroscopic and thermodynamic confirmation of host-guest inclusion, supported by controlled comparisons against DES-only formulations at matched viscosity and water content. Solvent design should shift from empirical, availability-driven DES-cyclodextrin pairing

toward target-oriented selection guided by the molecular geometry and polarity of the analyte, supported by systematic screening and consistent reporting of physicochemical descriptors. Computational and predictive modeling approaches remain almost entirely unexplored for this specific hybrid class, despite their established use in conventional DES design, and their application could substantially narrow the experimental search space and provide mechanistic grounding for observed selectivity. Recyclability data are essentially absent for bioactive-extraction applications, in contrast to the regeneration already demonstrated in a metal-recovery context; establishing reverse-extraction or membrane-based recovery protocols with closed-loop mass balances is a prerequisite for any credible sustainability claim beyond the solvent's intrinsic green character. Finally, all available evidence remains laboratory-scale and translation beyond the laboratory will require addressing phase-separation control and mass-transfer limitations under continuous operation, together with techno-economic evaluation relative to established green extraction methods.

Taken together, DES-SUPRAS hybrid systems represent a mechanistically well-motivated but still nascent extraction strategy, whose progression from proof-of-concept demonstrations to a validated green-extraction platform depends less on further isolated case studies and more on standardized reporting, rational and computationally informed solvent design, and quantitative benchmarking against conventional DES and SUPRAS systems under matched conditions.

References

- Accioni, F., García-Gómez, D., Girela, E., & Rubio, S. (2018). SUPRAS extraction approach for matrix-independent determination of amphetamine-type stimulants by LC-MS/MS. *Talanta*, 182, 574–582. <https://doi.org/10.1016/J.TALANTA.2018.02.039>
- Aimone, C., Capaldi, G., Calcio Gaudino, E., Anceschi, A., Patrucco, A., Radošević, K., Grillo, G., & Cravotto, G. (2026). Supramolecular Deep Eutectic Solvents as a Janus Green Platform: Integrating Curcuminoid Extraction and Biopolymer. *Molecules* 2026, Vol. 31, Page 2104, 31(12), 2104. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES31122104>
- Aparicio-Ibáñez, A., Ballesteros-Gómez, A., Serrano-Crespín, A., & Rubio, S. (2026). Sustainable antioxidant extraction from blueberry juice residues using cosmetic-grade BioSUPRAS. *Microchemical Journal*, 226, 118478. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2026.118478>
- Baig, J. A., Arain, M. B., Kazi, T. G., & Soylak, M. (2026). Advancing Sustainable Dispersive Liquid–Liquid Microextraction: Methodological Formats and Eco-Friendly Solvents for Heavy Metal Analysis. *Journal of Separation Science*, 49(6), e70468. <https://doi.org/10.1002/JSSC.70468>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:16159314;WEBSITE:WEBSITE:ANALYTICALSCIENCEJOURNALS;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Barhate, N., BHUJBAL, S., Wavhale, R. D., Gurav, S. S., Namdeo, A., & Sangshetti, J. (2026). Recent advances in ionic liquid-based microextraction for pesticide residue analysis in food and environmental samples. *Analytical Methods*, 18(28), 5874–5896. <https://doi.org/10.1039/D6AY00518G>
- Birk, L., Santos, B. P. dos, Schwarz, P. de S., Eller, S., & Oliveira, T. F. de. (2023). Green chemistry: Developments and perspectives for sample treatment in forensic methodologies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, 5(6), e1497. <https://doi.org/10.1002/WFS2.1497>
- Cai, Z. H., Wang, J. D., Liu, L., Ruan, L. D., Gu, Q., Yan, X. Y., Fu, L. N., Zhao, P. Q., Zhang, S., & Fu, Y. J. (2023). A green and designable natural deep eutectic solvent-based

- supramolecular solvents system: Efficient extraction and enrichment for phytochemicals. *Chemical Engineering Journal*, 457, 141333. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2023.141333>
- Carasek, E., Bernardi, G., Do Carmo, S. N., & Vieira, C. M. S. (2019). Alternative Green Extraction Phases Applied to Microextraction Techniques for Organic Compound Determination. *Separations* 2019, Vol. 6, Page 35, 6(3), 35. <https://doi.org/10.3390/SEPARATIONS6030035>
- Georgantzi, C., Lioliou, A. E., Paterakis, N., & Makris, D. P. (2017). Combination of Lactic Acid-Based Deep Eutectic Solvents (DES) with β -Cyclodextrin: Performance Screening Using Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from Selected Native Greek Medicinal Plants. *Agronomy* 2017, Vol. 7, Page 54, 7(3), 54. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY7030054>
- Grau, J., Azorín, C., Benedé, J. L., Chisvert, A., & Salvador, A. (2022). Use of green alternative solvents in dispersive liquid-liquid microextraction: A review. *Journal of Separation Science*, 45(1), 210–222. <https://doi.org/10.1002/JSSC.202100609>;WEBSITE:WEBSITE:ANALYTICALSCIENCEJOURNALS;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Gui, C., Liu, Q., Lei, Z., Guo, Y., Kfoury, M., Xiang, D., & Fourmentin, S. (2025). Supramolecular Deep Eutectic Solvents and Their Aqueous Solutions: Green Carriers for Essential Oils. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 13(18), 6611–6622. <https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.5C00881>
- Huang, D., Chen, L., Chen, X., Huang, X., Yang, Y., Liu, J., Lin, Y., Liu, Y., & Li, H. (2025). Supramolecular deep eutectic solvents as green media for efficient extraction of tea polyphenols and its application in bio-active film. *Food Chemistry*, 465, 141904. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.141904>
- Ioannou, K. A., Georgiou, M. N., Ioannou, G. D., Christou, A., Stavrou, I. J., Schmid, M. G., & Kapnissi-Christodoulou, C. P. (2024). Enantiomeric separation of nefopam and cathinone derivatives using a supramolecular deep eutectic solvent as a chiral selector in capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, 45(19–20), 1721–1726. <https://doi.org/10.1002/ELPS.202400092>;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Janicka, P., Kaykhaii, M., Płotka-Wasyłka, J., & Gębicki, J. (2022). Supramolecular deep eutectic solvents and their applications. *Green Chemistry*, 24(13), 5035–5045. <https://doi.org/10.1039/D2GC00906D>
- Makoś-Chełstowska, P., Słupek, E., Fourmentin, S., & Gębicki, J. (2024). Supramolecular deep eutectic solvents in extraction processes: a review. *Environmental Chemistry Letters* 2024 23:1, 23(1), 41–65. <https://doi.org/10.1007/S10311-024-01795-3>
- Sánchez-Vallejo, C., Ballesteros-Gómez, A., & Rubio, S. (2022). Tailoring composition and nanostructures in supramolecular solvents: Impact on the extraction efficiency of polyphenols from vegetal biomass. *Separation and Purification Technology*, 292, 120991. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2022.120991>
- Schuur, B., Brouwer, T., & Sprakel, L. M. J. (2021). Recent Developments in Solvent-Based Fluid Separations. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 12(Volume 12, 2021), 573–591. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-CHEMBIOENG-102620-015346/CITE/REFWORKS>
- Triolo, A., Lo Celso, F., Fourmentin, S., & Russina, O. (2023). Liquid Structure Scenario of the Archetypal Supramolecular Deep Eutectic Solvent: Heptakis(2,6-di-O-methyl)- β -cyclodextrin/levulinic Acid. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(24), 9103–9110. <https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.3C01858>

- YILMAZ, E., SOYLAK, M., YILMAZ, E., & SOYLAK, M. (2016). Latest trends, green aspects, and innovations in liquid-phase--based microextraction techniques: a review. *Turkish Journal of Chemistry*, 40(6), 868–893. <https://doi.org/10.3906/kim-1605-26>
- ZAFAR, H., SHAH, F., KHAN, R. A., KHAN, A. M., NISAR, J., ISMAIL, B., ZAFAR, H., SHAH, F., KHAN, R. A., KHAN, A. M., NISAR, J., & ISMAIL, B. (2022). Supramolecular solvent-based microextraction for the preconcentration of Pb²⁺ and Cd²⁺ prior to spectrophotometric detection. *Turkish Journal of Chemistry*, 46(1), 147–156. <https://doi.org/10.3906/kim-2106-24>
- Zhang, J., Yao, L., Li, S., Li, S., Wu, Y., Li, Z., & Qiu, H. (2023). Green materials with promising applications: cyclodextrin-based deep eutectic supramolecular polymers. *Green Chemistry*, 25(11), 4180–4195. <https://doi.org/10.1039/D3GC00489A>
- Zhang, Y., Xia, T., Xu, Y., Wang, X., Wang, Y., Zhu, Z., Cui, P., & Li, G. (2026). β-Cyclodextrin modified deep eutectic solvent for recovering valuable metals from retired lithium batteries. *AIChE Journal*, 72(2), e70134. <https://doi.org/10.1002/AIC.70134;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Zhou, P., Liu, G., Fang, H., Zhao, Z., Zhang, Y., Tang, X., Li, P., Zeng, J., Deng, Y., & Zhang, M. (2024). Supramolecular deep eutectic solvents: Current advances and critical evaluation of cyclodextrins from solute to solvent in emerging functional food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(6), e70026. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70026;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER>

FARKLI ÇÖZÜCÜLERİN SEDİR AĞACI TALAŞINDAN ELDE EDİLEN EKSTRAKTLARIN KİMYASAL PROFİLİ ÜZERİNE ETKİSİNİN GC-MS İLE BELİRLENMESİ

Yasemin Tokur

Marmara Forestry Research Institute
34485 Sarıyer, İstanbul

ORCID ID: 0009-0003-7111-4881

Dr. Öğr. Üyesi İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Bu çalışma, farklı çözücülerin ve örnek koşullarının Sedir odunu talaşından elde edilen ekstraktların uçucu kimyasal bileşimi üzerindeki etkisini gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) analizi ile değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Taze ve kurutulmuş odun talaşı örnekleri farklı etanol (%20, %50, %80 ve %100), propanol (%20, %50, %80 ve %100) ve su kullanılarak ekstrakte edilmiş, ekstraktların uçucu bileşenleri headspace katı faz mikroekstraksiyonu (HS-SPME) ile GC-MS yöntemiyle analiz edilmiştir. Sonuçlar, çözücü tipi ve örnek durumuna bağlı olarak uçucu bileşiklerin göreceli bolluklarında belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermiştir. Etanol ve propanol ekstraktlarında β -himachalene, α -himachalene, humulene ve dehydroisolongifolene en sık belirlenen başlıca seskiterpen bileşikler arasında yer alırken, su ekstraktı germacrone açısından baskın olduğu farklı bir kimyasal profil sergilemiştir. Ayrıca taze ve kurutulmuş örnekler arasında da uçucu bileşenlerin göreceli dağılımında değişiklikler gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, Sedir odunu talaşı gibi lignoselülozik yan ürünün doğal uçucu bileşikler açısından potansiyel bir kaynak olduğuna ilişkin temel veriler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Odun talaşı; GC-S; uçucu bileşikler; çözücü ekstraksiyonu; kimyasal profil.

EFFECT OF DIFFERENT SOLVENTS ON THE CHEMICAL PROFILE OF EXTRACTS OBTAINED FROM CEDAR WOOD SAWDUST: A GC-MS

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of different solvents and sample conditions on the volatile chemical composition of extracts obtained from Cedar wood sawdusts using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis. Fresh and dried wood chip samples were extracted using different ethanol (20%, 50%, 80% and 100%), propanol (20%, 50%, 80% and 100%) and water concentrations. The volatile components of the extracts were analyzed by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and GC-MS. The results showed significant differences in the relative abundance of volatile compounds depending on the solvent type and sample condition. In ethanol and propanol extracts, β -himachalene, α -

himachalene, humulene and dehydroisolongifolene were among the most frequently identified major sesquiterpene compounds, while the water extract exhibited a different chemical profile dominated by germacrene. Furthermore, variations in the relative distribution of volatile components were observed between fresh and dried samples. The findings provide important data suggesting that lignocellulosic byproducts such as Cedar wood sawdusts are a potential source of natural volatile compounds.

Keywords: Wood sawdust; GC-MS; volatile compounds; solvent extraction; chemical profile.

1. INTRODUCTION

The increasing demand for sustainable utilization of plant-derived resources has encouraged researchers to investigate the chemical composition of agricultural and forestry by-products [1]. Among these materials, wood residues such as sawdust have attracted considerable attention because they contain a wide variety of bioactive secondary metabolites that can be recovered through appropriate extraction techniques [2,3]. The efficient valorization of these residues not only contributes to waste reduction but also provides an alternative source of valuable natural compounds for pharmaceutical, cosmetic, food and industrial applications [4].

Cedar is an evergreen tree widely distributed in the Middle East, North Africa and some Mediterranean regions [5]. Different parts of the plant, including its leaves, fruits, bark, and roots, have long been used in traditional medicine because of their antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, and wound-healing properties [6,7]. Although numerous studies have focused on the phytochemical composition of leaves and fruits [8–10], relatively limited information is available regarding the chemical constituents of Cedar wood and its processing residues such as wood sawdust.

The chemical composition of plant extracts is strongly influenced by the extraction solvent. Solvent polarity plays a critical role in determining both the extraction efficiency and the diversity of compounds recovered from plant matrices. Therefore, selecting an appropriate solvent is essential for obtaining extracts enriched with specific classes of phytochemicals [11]. Comparative solvent extraction studies also provide valuable information for future industrial utilization of plant biomass and optimization of extraction processes [12].

Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) is one of the most reliable analytical techniques for identifying volatile and semi-volatile compounds in complex natural matrices [13]. The method enables rapid separation, identification and semi-quantitative evaluation of numerous constituents, making it particularly suitable for comparing chemical profiles obtained using different extraction conditions.

In the present study, extracts prepared from fresh and dried Cedar wood sawdust using ethanol, propanol and distilled water at different solvent concentrations were analyzed by GC-MS. The primary objective was to evaluate the influence of solvent type and concentration on the chemical profile of the extracts as well as to identify the major volatile constituents recovered under different extraction conditions. The findings are expected to contribute to the characterization and potential valorization of Cedar wood processing residues as a natural source of valuable bioactive compounds.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

Wood sawdust was supplied by the Elmalı Forest Management Directorate (Antalya, Türkiye), operating under the General Directorate of Forestry. The collected material was divided into

two groups: fresh (Y) and dried (K) samples. The dried samples were obtained by oven-drying the sawdust at 105 °C until a constant weight was reached. Figure 1 shows the dried and ground samples. All chemicals and analytical-grade solvents used during the extraction procedure were purchased from Merck (Darmstadt, Germany) and Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).



Figure 1. Dried and ground Cedar wood sawdusts.

2.2. Extraction of Sidr Wood Sawdust

In order to extract the biomolecules from Cedar wood sawdust, Velp SER 158 (Velp Scientifica, Usmate, Italy) automatic solvent extraction system was used (Figure 2). The detailed information on the extraction was described in our earlier study [14]. Approximately 2 g of sawdust was placed in the extraction thimble and extracted with 80 mL of solvent. Ethanol, propanol, and distilled water were used as extraction solvents. Ethanol extracts were prepared at concentrations of 20%, 50%, 80% and 100%, whereas propanol extracts were prepared at 20%, 50%, 80% and 100%. Distilled water (100%) was also evaluated as an extraction solvent. The obtained extracts were collected, filtered and stored under appropriate conditions until GC-MS analysis.

Table 1 summarizes the experimental design of the present study.



Figure 2. Automatic solvent extraction system.

Table 1. Experimental design

Sample	Material	Solvent	Concentration
1	Fresh	Ethanol	100%
2	Fresh	Ethanol	20%
3	Fresh	Ethanol	50%
4	Fresh	Ethanol	80%
5	Fresh	Propanol	100%
6	Dry	Ethanol	100%
7	Dry	Ethanol	20%
8	Dry	Ethanol	50%
9	Dry	Ethanol	80%
10	Dry	Propanol	100%
11	Dry	Propanol	20%
12	Dry	Propanol	50%
13	Dry	Propanol	80%
14	Dry	Distilled water	100%
15-19	Repeat analyses*	—	—

*Samples 15-19 correspond to repeat analyses of the dry propanol and distilled water extracts.

2.3. GC-MS Analysis

The volatile compound profiles of the extracts were determined using solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) following the method described by D'Auria et al. with minor modifications [15]. GC-MS analyses were performed by an external accredited analytical laboratory using a Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra system (Shimadzu, Kyoto, Japan) (Figure 3). Chromatographic separation was performed by using an Rxi-5ms capillary column (30 m×0.25 mm i.d.×0.25 µm film thickness; Restek, USA). The injector was maintained at 250 °C, while the samples were desorbed for 3 min under splitless injection mode. The oven temperature was programmed to start at 50 °C (held for 1 min), then increased to 200 °C at a rate of 3 °C min⁻¹. This was followed by a further rise to 250 °C at 8 °C min⁻¹, where it was held for 5 min. Mass spectra were acquired in the 35–450 m/z range using electron impact ionization at 70 eV. The interface temperature was kept constant at 250 °C. Helium served as the carrier gas with a linear velocity of 44.4 cm s⁻¹.



Figure 3. GC-MS equipment.

Compound identification was performed by comparing the obtained mass spectra with the Wiley, NIST and Tutor mass spectral libraries. The relative abundance of each constituent was expressed as the percentage peak area, while the major compounds identified in each extract were used for comparative evaluation of the chemical profiles.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of Ethanol Concentration on the Chemical Profile of Fresh Cedar Wood Sawdust Extracts

The GC-MS analysis demonstrated that the chemical composition of fresh Cedar wood sawdust extracts was markedly influenced by the ethanol concentration used during extraction. Considerable differences were observed in both the number of detected compounds and their relative abundances among the four ethanol concentrations (20%, 50%, 80% and 100%). So, we can conclude that solvent polarity plays an important role in the extraction of volatile constituents.

Table 2. Relative abundance (%) of major volatile compounds in fresh ethanol extracts of Cedar wood sawdust.

Compound	100% EtOH	20% EtOH	50% EtOH	80% EtOH
β -Himachalene	4.46	3.84	15.80	24.68
α -Himachalene	1.45	2.52	8.18	18.54
Humulene	1.71	1.26	3.57	20.27
Dehydroisolongifolene	1.58	1.83	7.90	8.68

In the fresh wood extracts, sesquiterpene hydrocarbons constituted the predominant group of compounds. Among these, β -himachalene, α -himachalene, humulene, and dehydroisolongifolene were consistently detected as major constituents as seen in Table 2, although their relative abundances varied with ethanol concentration. The 80% ethanol extract (Sample 4) exhibited the highest proportions of β -himachalene (24.68%), humulene (20.27%), and α -himachalene (18.54%), suggesting that this solvent concentration provided the most efficient recovery of these sesquiterpene compounds. In comparison, the corresponding compounds were present at substantially lower percentages in the other fresh ethanol extracts. The 50% ethanol extract (Sample 3) also showed a high abundance of β -himachalene (15.80%) together with appreciable amounts of α -himachalene (8.18%) and dehydroisolongifolene (7.90%). These findings indicate that medium-polarity ethanol solutions are effective for extracting sesquiterpenes from *Z. spina-christi* wood sawdust.

In contrast, the 100% and 20% ethanol extracts (Samples 1 and 2) were characterized by lower proportions of the characteristic sesquiterpenes and relatively higher amounts of non-target constituents. This difference suggests that absolute ethanol or highly diluted ethanol may not be as effective as intermediate ethanol concentrations for recovering the major volatile constituents of Cedar wood. The results indicate that increasing ethanol concentration up to 80% substantially enhanced the extraction of characteristic sesquiterpenes (β -himachalene, α -himachalene and humulene). These compounds are recognized as characteristic constituents of woody plant essential oils and contribute significantly to their chemical identity and potential biological activities [16]. Therefore, among the ethanol concentrations evaluated, 80% ethanol produced the most representative volatile profile for fresh Cedar wood sawdust extracts.

3.2. Comparison of Fresh and Dried Cedar Wood Sawdust Extracts Obtained with Ethanol

A comparison of the major volatile compounds identified in fresh and dried Cedar wood sawdust extracts obtained using ethanol is presented in Table 3. The GC-MS results revealed differences in the relative abundance of several characteristic compounds between fresh and dried samples, although β -himachalene, α -himachalene, humulene and dehydroisolongifolene remained among the dominant constituents in both groups.

Table 3. Relative abundance (%) of selected major volatile compounds identified in dried Cedar wood sawdust extracts obtained with different ethanol concentrations.

Compound	100% EtOH	20% EtOH	50% EtOH	80% EtOH
β -Himachalene	7.86	3.59	13.88	—*
α -Himachalene	4.45	—	7.89	12.71
Humulene	3.30	0.74	2.76	7.04
Dehydroisolongifolene	4.79	2.59	3.38	13.17
α -Bisabolol	4.57	—	8.49	—
Caryophyllene oxide	4.98†	6.09†	3.93	—

* “—” indicates that the compound was not among the major compounds reported for that extract.

The dried wood extracts generally exhibited a volatile profile dominated by sesquiterpenes. β -Himachalene remained one of the principal constituents, reaching 13.88% in the 50% ethanol extract, while dehydroisolongifolene was detected at its highest relative abundance in the 80% ethanol extract (13.17%). In addition, α -himachalene was consistently identified in all dried ethanol extracts with relative abundances ranging from 6.78% to 12.71%.

The dried samples contained relatively lower proportions of humulene comparing to the fresh wood extracts. Dehydroisolongifolene became more prominent, particularly in 50% and 80% ethanol extracts. These observations suggest that the drying treatment significantly affects the volatile composition [17].

3.3. Effect of Propanol and Water Extraction on the Volatile Chemical Profile of Cedar Wood Sawdust

The major volatile compounds identified in propanol and water extracts of Cedar wood sawdust are summarized in Table 4. Compared with the ethanol extracts, the chemical profiles obtained using propanol and distilled water exhibited noticeable differences in the dominant constituents. So, the extraction solvent influenced the relative composition of the volatile fraction.

Table 4. Major volatile compounds (%) identified in propanol and water extracts of Cedar wood sawdust.

Compound	Fresh 100% Propanol	Dry 100% Propanol	Dry 20% Propanol	Dry 50% Propanol	Dry 80% Propanol	Water
β -Himachalene	8.90	—*	—	14.39	23.00	—
α -Himachalene	4.60	—	—	6.78	12.36	—

Compound	Fresh 100% Propanol	Dry 100% Propanol	Dry 20% Propanol	Dry 50% Propanol	Dry 80% Propanol	Water
Humulene	4.80	—	—	—	11.40	—
Dehydroisolongifolene	4.03	1.59	—	8.69	6.09	—
Germacrone	—	—	—	—	—	14.20
Phenyl cyanate	28.96	—	—	—	—	—
Dimethyldiacetoxysilane	—	48.78	—	—	—	—

* “—” indicates that the compound was not among the major compounds reported for that extract.

The fresh wood extracted with 100% propanol was characterized primarily by phenyl cyanate (28.96%), while β -himachalene was detected at a lower relative abundance (8.90%). In contrast, the dried wood extracted with propanol displayed a greater contribution of sesquiterpene compounds, particularly β -himachalene, which reached 14.39% in the 50% propanol extract and 23.00% in the 80% propanol extract. Likewise, α -himachalene and humulene were more abundant in the 80% propanol extract than in the lower propanol concentrations.

Dehydroisolongifolene was detected in all dried propanol extracts, where the highest relative abundance was observed in the 50% propanol extract (8.69%). These results demonstrate that different propanol concentrations produced distinct volatile profiles rather than consistently increasing or decreasing the abundance of individual compounds.

The water extract exhibited a chemical composition that differed markedly from those of the organic solvent extracts. Germacrone was identified as the predominant compound (14.20%), followed by 2-butenic acid derivative (11.96%) and 4-acetyl-1-methyl-1-cyclohexene (8.99%). In contrast, β -himachalene, which dominated several ethanol and propanol extracts, was not among the principal constituents of the water extract. This finding suggests that water preferentially recovered a different group of volatile compounds under the extraction conditions employed in this study.

3.4. Comparative Evaluation

A comparative evaluation of the major volatile compounds identified in all extracts demonstrated clear differences in the chemical profiles obtained with different extraction solvents and sample conditions. The predominant compounds varied not only according to solvent type but also between fresh and dried wood sawdust.

A simplified comparison of the dominant volatile compounds across all extraction conditions is presented in Table 5. The findings show the solvent-dependent distribution of major constituents.

Table 5. Summary of dominant volatile compounds in different extraction solvents of Cedar wood sawdust.

Extraction type	Dominant compound(s)	Max (%)
Fresh ethanol	β -Himachalene	24.68
Fresh ethanol	α -Himachalene	18.54
Fresh ethanol	Humulene	20.27

Dried ethanol	α -Himachalene/Dehydroisolongifolene	12.71/13.17
Dried propanol	β -Himachalene	23.00
Dried propanol	Dehydroisolongifolene	8.69
Water extract	Germacrone	14.20

β -Himachalene was one of the most consistently detected compounds and predominated in several ethanol and propanol extracts, whereas α -himachalene, humulene and dehydroisolongifolene exhibited different relative abundances depending on the extraction treatment. In contrast, the water extract displayed a distinct chemical profile characterized by the predominance of germacrone. The results indicate that the choice of extraction solvent was associated with differences in the volatile chemical composition of Cedar wood sawdust extracts. Similar solvent-dependent variations in the chemical profiles of Cedar extracts have been reported previously, demonstrating that solvent polarity and extraction conditions influence the composition of the recovered phytochemicals [18,19].

4. Conclusions

This study demonstrated that the solvent type and sample condition influenced the volatile chemical profile of Cedar wood sawdust extracts. GC-MS analysis showed differences in the relative abundances of the identified volatile compounds for ethanol, propanol, and water-based extracts. Ethanol and propanol extracts were generally characterized by the presence of sesquiterpene compounds (β -himachalene, α -himachalene, humulene and dehydroisolongifolene). In contrast, the water extract exhibited a distinct chemical profile in which germacrone was identified as the predominant compound. The comparison between fresh and dried wood samples also showed variations in the relative composition of the volatile constituents. These findings demonstrate the importance of choosing an appropriate extraction solvent according to the target volatile compounds and provide new information on the chemical composition of Cedar wood sawdust. The results may serve as a useful reference for future studies investigating the valorization of this lignocellulosic by-product as a potential source of natural volatile compounds.

REFERENCES

1. Chiochio, I.; Mandrone, M.; Tomasi, P.; Marincich, L.; Poli, F. Plant Secondary Metabolites: An Opportunity for Circular Economy. *Mol.* **2021**, Vol. 26, Page 495 **2021**, 26, 495, doi:10.3390/MOLECULES26020495.
2. Ferreira-Santos, P.; Zanuso, E.; Genisheva, Z.; Rocha, C.M.R.; Teixeira, J.A. Green and Sustainable Valorization of Bioactive Phenolic Compounds from Pinus By-Products. *Mol.* **2020**, Vol. 25, Page 2931 **2020**, 25, 2931, doi:10.3390/MOLECULES25122931.
3. Neeraj, S.; Menon, Y.; Sharma, A. Transfer of Sawdust to Chemicals and Biofuels. *Valorization Solid Wastes to Biofuels Chem. Prod. Sustain. World* **2025**, 251–268, doi:10.1007/978-981-96-8594-3_14/FIGURES/11.
4. Laura, Lady; Osorio, D.R.; Flórez-López, E.; David Grande-Tovar, C.; Flórez-López, E.; Grande-Tovar, C.D.; Trombetta, D. The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: Applications in the Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. *Mol.* **2021**, Vol. 26, Page 515 **2021**, 26, 515, doi:10.3390/MOLECULES26020515.
5. Dhanalekshmi, U.M.; Khan, S.A.; Alam, T.; Masoodi, M.H. An Insight into the

- Phytochemistry, Traditional Uses, and Pharmacology of *Ziziphus Spina-Christi* (L) Willd. (Sidr): An Edible Wild Plant of Arabian Peninsula. *Edible Plants Heal. Dis. Vol. II Phytochem. Pharmacol. Prop.* **2022**, 2, 43–93, doi:10.1007/978-981-16-4959-2_2/TABLES/4.
6. Nayal, R.; Abajy, M.Y.; Al Bakour, A. PHYTOCHEMICALS AND BIOACTIVITIES OF CEDRUS LIBANI A. RICH. *Bull. Pharm. Sci. Assiut Univ.* **2023**, 46, 881–897, doi:10.21608/BFSA.2023.327566.
 7. Ancuceanu, R.; Anghel, A.I.; Hovanet, M.V.; Ciobanu, A.M.; Lascu, B.E.; Dinu, M. Antioxidant Activity of Essential Oils from Pinaceae Species. *Antioxidants* **2024**, 13, 286, doi:10.3390/ANTIOX13030286/S1.
 8. El-Shahir, A.A.; El-Wakil, D.A.; Latef, A.A.H.A.; Youssef, N.H. Bioactive Compounds and Antifungal Activity of Leaves and Fruits Methanolic Extracts of *Ziziphus Spina-Christi* L. *Plants* **2022**, 11, 746, doi:10.3390/plants11060746.
 9. Shnawa, B.H.; Jalil, P.J.; Al-Ezzi, A.; Mhamedsharif, R.M.; Mohammed, D.A.; Biro, D.M.; Ahmed, M.H. Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activity of Zinc Oxide Nanoparticles Biosynthesized with *Ziziphus Spina-Christi* Leaf Extracts. *J. Environ. Sci. Heal. Part C* **2024**, 42, 93–108, doi:10.1080/26896583.2023.2293443.
 10. Aldhanhani, A.R.H.; Ahmed, Z.F.R.; Tzortzakis, N.; Singh, Z. Maturity Stage at Harvest Influences Antioxidant Phytochemicals and Antibacterial Activity of Jujube Fruit (*Ziziphus Mauritiana* Lamk. and *Ziziphus Spina-Christi* L.). *Ann. Agric. Sci.* **2022**, 67, 196–203, doi:10.1016/J.AOAS.2022.12.003.
 11. Sun, S.; Yu, Y.; Jo, Y.; Han, J.H.; Xue, Y.; Cho, M.; Bae, S.J.; Ryu, D.; Park, W.; Ha, K.T.; et al. Impact of Extraction Techniques on Phytochemical Composition and Bioactivity of Natural Product Mixtures. *Front. Pharmacol.* **2025**, 16, 1615338, doi:10.3389/FPHAR.2025.1615338/FULL.
 12. Usman, M.; Cheng, S.; Boonyubol, S.; Cross, J.S. Evaluating Green Solvents for Bio-Oil Extraction: Advancements, Challenges, and Future Perspectives. *Energies* **2023**, Vol. 16, Page 5852 **2023**, 16, 5852, doi:10.3390/EN16155852.
 13. International, A.; Ranjan Maji, S.; Roy, C.; Sinha, S.K. JOURNAL OF ANALYTICAL SCIENCES AND APPLIED BIOTECHNOLOGY Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS): A Comprehensive Review of Synergistic Combinations and Their Applications in the Past Two Decades. **2023**, doi:10.48402/IMIST.PRSM/jasab-v5i2.40209.
 14. Toprakçı, G.; Toprakçı, İ.; Şahin, S. Highly Clean Recovery of Natural Antioxidants from Lemon Peels: Lactic Acid-Based Automatic Solvent Extraction. *Phytochem. Anal.* **2022**, doi:10.1002/PCA.3109.
 15. D'Auria, M.; Mauriello, G.; Rana, G.L. Volatile Organic Compounds from Saffron. *Flavour Fragr. J.* **2004**, 19, 17–23, doi:10.1002/FFJ.1266;CTYPE:STRING:JOURNAL.
 16. Elbouzidi, A.; Taibi, M.; El Hachlafi, N.; Haddou, M.; Jeddi, M.; Baraich, A.; Bougrine, S.; Mothana, R.A.; Hawwal, M.F.; Alobaid, W.A.; et al. Optimization of the Antibacterial Activity of a Three-Component Essential Oil Mixture from Moroccan *Thymus Satureioides*, *Lavandula Angustifolia*, and *Origanum Majorana* Using a Simplex–Centroid Design. *Pharmaceuticals* **2025**, 18, 57, doi:10.3390/PH18010057/S1.
 17. Qin, H.W.; Yang, T.M.; Yang, S.B.; Yang, M.Q.; Wang, Y.Z.; Zhang, J.Y. Effects of Different Pre-Drying and Drying Methods on Volatile Compounds in the Pericarp and Kernel of *Amomum Tsao-Ko*. *Front. Plant Sci.* **2022**, 13, 803776, doi:10.3389/FPLS.2022.803776/TEXT.
 18. Nabih Ads, E.; Rajendrasozhan, S.; Imran Hassan, S.; Mohamed Sayed Sharawy, S.;

Ragheb Humaidi, J. Phytochemical Screening of Different Organic Crude Extracts from the Stem Bark of Ziziphus Spina-Christi (L.).

19. Khaleel, S.M.J. Studying the Heavy Metals Composition and the Impact of Different Common Solvents on the Extraction Efficiency of Phytochemical Secondary Metabolites from the Leaves of Ziziphus Spina-Christi Grown in Jordan. *Pakistan J. Nutr.* **2018**, *17*, 392–398, doi:10.3923/PJN.2018.392.398.

**CEDRUS LIBANI AĞACI TALAŞINDAN FENOLİK MADDE VE ANTİOKSİDAN
AKTİVİTESİNİN GERİ KAZANIMI İÇİN OTOMATİK ÇÖZÜCÜ
EKSTRAKSİYONU**

Yasemin Tokur

Marmara Forestry Research Institute, 34485 Sarıyer, İstanbul

ORCID ID: 0009-0003-7111-4881

Dr. Öğr. Üyesi İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Cedrus libani ağacının işlenmesi, biyoaktif bileşikler kaynağı olma potansiyeline rağmen genellikle düşük değerli bir yan ürün olarak değerlendirilen önemli miktarda talaş üretir. Bu çalışmada, otomatik çözücü ekstraksiyonu kullanılarak *C. libani* talaşından antioksidatif fenolik bileşenlerin geri kazanımını araştırılmıştır. Taze (Y) ve kurutulmuş (K) talaş örnekleri su, etanol, propanol ve bunların sulu karışımları ile ekstrakte edilmiştir. Toplam fenolik içerik (TPC), Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenirken, antioksidan aktivite DPPH ve ABTS radikal süpürme testleri ile değerlendirilmiştir. Ekstraksiyon işlemleri arasındaki istatistiksel farklılıklar, tek yönlü ANOVA ve ardından Tukey HSD testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, TPC ve antioksidan aktivite arasındaki ilişkileri değerlendirmek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyolojik atık, ekstraksiyon, antioksidan aktivite, fenolik maddeler.

**AUTOMATIC SOLVENT EXTRACTION FOR RECOVERY OF PHENOLIC
SUBSTANCE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY FROM *CEDRUS LIBANI* WOOD
SAWDUST WASTE**

ABSTRACT

Cedrus libani wood processing generates considerable amounts of sawdust that is generally treated as a low-value by-product despite its potential as a source of bioactive compounds. This study investigated the recovery of antioxidative phenolic constituents from *C. libani* sawdust using automatic solvent extraction. Fresh (Y) and dried (K) sawdust samples were extracted with water, ethanol, propanol and their aqueous mixtures. Total phenolic content (TPC) was determined using the Folin-Ciocalteu method, while antioxidant activity was evaluated by DPPH and ABTS radical scavenging assays. Statistical differences among extraction treatments were assessed using one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test. Additionally, Pearson correlation analysis was performed to evaluate relationships between TPC and antioxidant activity.

Keywords: Biowaste, extraction, antioxidant activity, phenolic substances.

1. INTRODUCTION

Cedrus libani is one of the most important conifer species native to the eastern Mediterranean region. It is naturally distributed in Türkiye, Lebanon and Syria. Owing to its high-quality timber, durability and ecological importance, the species has been extensively utilized for centuries in the wood industry [1,2].

Extensive utilization of *C. libani* in the timber industry inevitably generates considerable amounts of sawdust and other processing residues. On the other hand, this biowaste contains a wide variety of phytochemicals exhibiting numerous biological activities, suggesting that it is a promising source of natural antioxidant and antimicrobial compounds for industrial and medicinal applications [3,4]. Efficient recovery of these bioactive compounds depends largely on the extraction technique employed. In recent years, automatic solvent extraction has emerged as a green and efficient extraction technology since it operates under elevated temperature at atmospheric pressure, reducing solvent consumption and extraction time while improving extraction efficiency [5–8]. Furthermore, extraction performance is strongly influenced by solvent polarity and sample pretreatment, making the optimization of extraction conditions essential for maximizing the recovery of antioxidant compounds [9].

To the best of our knowledge, no study has comprehensively investigated the effects of solvent type and sample condition (fresh and dried sawdust) on the recovery of phenolic compounds and antioxidant activity from *C. libani* wood sawdust using automatic solvent extraction. Therefore, the aim of this study was to optimize automatic solvent extraction conditions by evaluating different solvent systems and sample conditions, and to characterize the obtained extracts in terms of their total phenolic content (TPC) and antioxidant activity measured by 2 different assays (DPPH and ABTS).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

The research samples were provided by Elmalı Forestry Management Directorate (Elmalı, Antalya), which was affiliated with the Antalya General Directorate of Forestry. The samples were divided into 2 parts as fresh samples (Y) and dried samples (K). The drying process was carried out by an oven at 105 °C.

The chemical materials were provided from Merck and Sigma-Aldrich.

2.2. Extraction Procedure

Velp SER 158 (Velp Scientifica, Usmate, Italy) automatic solvent extraction system was used to extract bioactive ingredients from *C. libani* sawdust. Table 1 summarizes the extraction conditions.

Table 1. Extraction conditions

Parameter	Value
Sample	2 g
Solvent	EtOH, Propanol, Water
Solvent concentration	20-100%
Solvent volume	80 mL
Time	72 min

2.3. Total Phenolic Content

TPC of the *C. libani* wood sawdust extracts was quantified using the Folin-Ciocalteu colorimetric assay [10]. For the analysis, 20 μ L of each extract was transferred into a reaction tube containing 350 μ L of distilled water. Subsequently, 2.0 mL of 10% (v/v) Folin-Ciocalteu reagent was added, followed by 1.6 mL of 7.5% (w/v) sodium carbonate solution. The reaction mixtures were vortexed thoroughly and allowed to stand for 30 min at room temperature before absorbance measurements were performed at 765 nm using a UV-Vis spectrophotometer (PG Instruments, T60/Leicestershire, England). Gallic acid solutions at different concentrations were employed to establish the calibration curve. The total phenolic content of the extracts was calculated from this calibration and reported as milligrams of gallic acid equivalents per gram of matter (mg-GAE/g-W).

2.4. DPPH Radical Scavenging Activity

The free radical scavenging capacity of the extracts was evaluated using the DPPH assay [11]. Initially, 100 μ L of extract was mixed with 600 μ L of 80% (v/v) methanol, after which 3.0 mL of freshly prepared DPPH solution was added. The reaction mixtures were incubated in the absence of light at 25 °C for 30 min to allow completion of the reaction. Absorbance values were then recorded at 517 nm. A calibration curve prepared with Trolox was used for quantification. Antioxidant activity was expressed as milligrams of Trolox equivalent antioxidant capacity per gram of dry matter (mg-TEAC/g-W).

2.5. ABTS Radical Scavenging Activity

The antioxidant activity of the extracts was also assessed using the ABTS radical cation decolorization assay [11]. Briefly, 150 μ L of each extract was combined with 2850 μ L of diluted ABTS free radical solution. After an incubation period of 10 min at room temperature, the decrease in absorbance was measured at 734 nm. Similarly, antioxidant activity was expressed as milligrams of Trolox equivalent antioxidant capacity per gram of dry matter (mg-TEAC/g-W).

2.6. Statistical Analysis

Statistical differences among extraction treatments were evaluated by one-way analysis of variance (ANOVA). When significant differences were detected, Tukey's honestly significant difference (HSD) multiple comparison test was applied to separate treatment means at a significance level of $p < 0.05$. Furthermore, Pearson correlation analysis was conducted to investigate the relationships between total phenolic content and the antioxidant activities determined by the DPPH and ABTS assays. For the relevant purposes, Minitab statistical software 22 (Minitab Inc., State College, PA, USA) was used.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Phenolic Substance of *Cedrus libani* Sawdust Extracts

TPC of the *C. libani* sawdust extracts are presented in Table 2. TPC values varied ranged from 7.50 to 31.41 mg-GAE/g-W. The highest TPC was obtained from the dried sawdust extracted with 80% ethanol (31.41±0.91 mg-GAE/g-W), which was significantly higher than most extraction treatments ($p<0.05$). The 50% propanol extract of dried sawdust (27.54±4.29 mg-GAE/g-W) showed the second highest phenolic content and belonged to the ab statistical group, indicating no significant difference from the highest treatment. In contrast, the water extracts exhibited the lowest TPC values (7.50-8.32 mg-GAE/g-W).

The results demonstrate that aqueous ethanol (80% concentration) was more effective than absolute ethanol, propanol or water for recovering phenolic compounds from *C. libani* sawdust. The improved performance of aqueous ethanol is likely related to its intermediate polarity, which enhances the solubility of a broader range of phenolic constituents while facilitating solvent penetration into the lignocellulosic matrix. Similar observations have been reported for several lignocellulosic biomasses and woody materials, where ethanol-water mixtures generally provided higher phenolic recoveries than either pure organic solvents or water alone [12,13]. Generally, dried sawdust generally yielded higher phenolic contents than fresh sawdust under comparable extraction conditions, suggesting that moisture removal before extraction improved solvent accessibility and mass transfer during accelerated solvent extraction. Drying might also increase cell wall permeability by disrupting plant tissue structure.

Table 2. Total phenolic contents of *Cedrus libani* sawdust extracts*

Extraction condition	TPC (mg-GAE/g-W)	Tukey
K-80% Ethanol	31.412 ± 0.910	a
K-50% Propanol	27.544 ± 4.287	ab
K-50% Ethanol	23.907 ± 2.582	abc
Y-80% Ethanol	22.960 ± 2.803	abc
K-100% Propanol	21.368 ± 6.572	abcd
Y-100% Propanol	20.737 ± 11.656	abcde
Y-50% Ethanol	20.638 ± 2.435	abcde
K-80% Propanol	20.213 ± 3.062	abcdef
K-80% Propanol	15.830 ± 6.632	bcdef
K-20% Ethanol	14.951 ± 0.418	bcdef
K-20% Propanol	14.408 ± 0.863	cdef
K-50% Propanol	13.735 ± 1.138	cdef
Y-100% Ethanol	13.570 ± 5.028	cdef
K-100% Propanol	13.092 ± 4.370	cdef
K-100% Ethanol	11.197 ± 1.286	cdef
Y-20% Ethanol	9.665 ± 1.168	def
K-20% Propanol	8.596 ± 1.892	def
K-100% Water	8.322 ± 2.879	ef
K-100% Water	7.499 ± 0.863	f

*Values are expressed as mean $\pm$ SD (n=3). Means followed by different superscript letters are significantly different according to Tukey's HSD test ($p < 0.05$).

3.2. Antioxidant Activity Determined by the ABTS Assay

The ABTS radical scavenging activity of the *C. libani* sawdust extracts ranged from 1.89 to 13.22 mg-TEAC/g-W (Table 3). The highest antioxidant activity was obtained from the dried sawdust extracted with 100% ethanol (13.22 ± 0.01 mg-TEAC/g-W), which belonged to the highest statistical group (a). Similar ABTS activities were observed for the dried 80% ethanol, dried 80% propanol, dried 50% propanol, dried 50% ethanol and fresh 80% ethanol extracts with no significant differences among these treatments ($p > 0.05$). In contrast, the water extracts exhibited the lowest antioxidant capacities. In particular, the repeated 100% water extract showed the minimum ABTS value (1.89 ± 0.78 mg-TEAC/g-W), while the dried 100% water extract also presented significantly lower activity (7.62 ± 0.26 mg-TEAC/g-W) than the majority of organic solvent extracts. These findings indicate that ethanol-based extraction, particularly from dried sawdust, was more effective in recovering ABTS-active antioxidant compounds than water extraction.

Table 3. ABTS radical scavenging activity of *Cedrus libani* sawdust extracts*

Extraction condition	ABTS (mg-TEAC/g-W)	Tukey
K-100% Ethanol	13.218 ± 0.011	a
Y-80% Ethanol	13.157 ± 0.011	ab
K-80% Ethanol	13.121 ± 0.180	ab
K-80% Propanol	13.112 ± 0.080	ab
K-50% Propanol	13.100 ± 0.184	ab
Y-50% Ethanol	12.836 ± 0.010	ab
K-50% Ethanol	12.743 ± 0.227	ab
K-50% Propanol	12.725 ± 0.082	ab
Y-100% Ethanol	12.597 ± 0.162	abc
Y-20% Ethanol	12.239 ± 0.084	abcd
K-20% Propanol	12.127 ± 0.927	bcd
K-100% Propanol	11.537 ± 0.280	cde
K-80% Propanol	11.479 ± 0.364	de
K-100% Propanol	10.941 ± 0.302	ef
Y-100% Propanol	10.840 ± 0.048	ef
K-20% Propanol	10.320 ± 0.585	f
K-20% Ethanol	10.064 ± 0.135	f
K-100% Water	7.621 ± 0.261	g
K-100% Water	1.892 ± 0.780	h

*Values are expressed as mean $\pm$ SD (n=3). Means followed by different superscript letters are significantly different according to Tukey's HSD test ($p < 0.05$).

3.3. Antioxidant Activity Determined by the DPPH Assay

Table 4 shows that the vast majority of extractions clustered in the 11.2-12.2 mg-TEAC/g-W range in the DPPH results. So, the Tukey test grouped most of them into the same “a” group. In contrast, water extracts (especially K-100% water) showed significantly lower antioxidant activity. Water use as solvent significantly reduces antioxidant capacity in terms of DPPH.

Table 4. DPPH radical scavenging activity of *Cedrus libani* sawdust extracts*

Extraction condition	DPPH (mg-TEAC/g-W)	Tukey
K-20% Propanol	12.161 ± 0.056	a
K-80% Propanol	12.086 ± 0.021	a
Y-20% Ethanol	12.067 ± 0.053	a
K-100% Ethanol	11.941 ± 0.032	a
K-20% Propanol	11.921 ± 0.249	a
K-50% Ethanol	11.867 ± 0.010	a
Y-80% Ethanol	11.817 ± 0.165	a
K-50% Propanol	11.774 ± 0.046	a
Y-100% Ethanol	11.622 ± 0.190	a
K-50% Propanol	11.606 ± 0.021	a
K-80% Ethanol	11.470 ± 0.087	a
K-80% Propanol	11.424 ± 0.140	a
K-100% Propanol	11.376 ± 0.202	a
K-20% Ethanol	11.293 ± 0.267	ab
K-100% Propanol	11.215 ± 0.056	ab
Y-100% Propanol	10.154 ± 0.835	bc
K-100% Water	9.269 ± 1.183	cd
K-100% Water	8.889 ± 0.769	d

*Values are expressed as mean ±SD (n=3). Means followed by different superscript letters are significantly different according to Tukey’s HSD test (p<0.05).

3.4. Correlation Analysis

Pearson correlation analysis was performed to investigate the relationships between total phenolic content and antioxidant activities determined by the DPPH and ABTS assays (Table 5). Pearson correlation analysis revealed a weak relationship between total phenolic content and DPPH radical scavenging activity, whereas only a moderate correlation was observed between TPC and ABTS activity. These findings suggest that the antioxidant capacity of *C. libani* wood sawdust extracts cannot be explained solely by their total phenolic content. Other phytochemical constituents such as sesquiterpenes and other volatile compounds may also contribute to the observed antioxidant activity. The strong relationship was found between the DPPH and ABTS assays (r=0.810, p<0.001), demonstrating strong agreement between the two antioxidant activity measurements.

Table 5. Pearson correlation coefficients among total phenolic content and antioxidant activities

Variable	TPC	DPPH	ABTS
TPC	1.000	0.292	0.511*
DPPH	0.292	1.000	0.810***
ABTS	0.511*	0.810***	1.000

* $p < 0.05$ and *** $p < 0.001$.

4. Conclusions

This study determined that the automatic solvent extraction method is effective in recovering bioactive compounds from *Cedrus libani* sawdust. The extract obtained from dried samples with 80% ethanol showed the highest total phenolic content, while the extract obtained with 100% ethanol exhibited the highest ABTS antioxidant activity. In general, the drying process increased the recovery of phenolic compounds and antioxidant activity. This is thought to be due to the changes in cell structure during drying, which facilitate the penetration of the solvent into the tissue and mass transfer. The correlation between the bioactive variables shows that antioxidant capacity of this biowaste appears to result from the combined action of multiple bioactive compounds rather than from total phenolics alone. In conclusion, *C.libani* sawdust is a promising forestry byproduct for the extraction of natural antioxidant compounds. These findings can contribute to the conversion of wood processing waste into value-added natural products.

REFERENCES

- López-Tirado, J.; Vessella, F.; Stephan, J.; Ayan, S.; Schirone, B.; Hidalgo, P.J. Effect of Climate Change on Potential Distribution of *Cedrus Libani* A. Rich in the Twenty-First Century: An Ecological Niche Modeling Assessment. *New For.* **2020**, *52*, 363–376, doi:10.1007/S11056-020-09798-Y.
- Özkan, U.; Koparan, B.; Genç, Ş.K.; Şahin, C.K. Wood Color Variation in Anatomical Sections of *Cedrus Libani* from Two Mediterranean Regions. *BioResources* **2025**, *20*, 7278–7292.
- Nayal, R.; Abajy, M.Y.; Al Bakour, A. PHYTOCHEMICALS AND BIOACTIVITIES OF CEDRUS LIBANI A. RICH. *Bull. Pharm. Sci. Assiut Univ.* **2023**, *46*, 881–897, doi:10.21608/BFSA.2023.327566.
- Ancuceanu, R.; Anghel, A.I.; Hovanet, M.V.; Ciobanu, A.M.; Lascu, B.E.; Dinu, M. Antioxidant Activity of Essential Oils from Pinaceae Species. *Antioxidants* **2024**, *13*, 286, doi:10.3390/ANTIOX13030286/S1.
- Şahin, S.; Kurtulbaş, E.; Pekel, A.G.; Toprakçı, İ.; Bilgin, M. Enhanced Extraction of High Added-Value Products from *Hibiscus Sabdariffa* Using Automatic Solvent Extractor: Kinetics and Modeling. *Sustain. Chem. Pharm.* **2021**, *19*, 100356, doi:10.1016/j.scp.2020.100356.
- Toprakçı, G.; Toprakçı, İ.; Şahin, S. Highly Clean Recovery of Natural Antioxidants from Lemon Peels: Lactic Acid-Based Automatic Solvent Extraction. *Phytochem. Anal.* **2022**, doi:10.1002/PCA.3109.

7. Kurtulbaş Şahin, E.; Bilgin, M.; Şahin, S. Automatic Solvent Extraction of Sour Cherry Peels and Storage Stability of the Products. *Biomass Convers. Biorefinery* **2020**, 1–11, doi:10.1007/s13399-020-00967-9.
8. Toprakçı, İ.; Kurtulbaş, E.; Şahin, S. Chemometric Tools to Comprehend a Recovery Process for the Bioactive Ingredients from Purple Basil (*Ocimum Basilicum* L.): Box-Behnken Design-Based Optimization and Principal Component Analysis. *J. Pharm. Biomed. Anal.* **2025**, 256, 116676, doi:10.1016/J.JPBA.2025.116676.
9. Tourabi, M.; Faiz, K.; Ezzougari, R.; Louasté, B.; Merzouki, M.; Daelbait, M.; Bourhia, M.; Almaary, K.S.; Siddique, F.; Lyoussi, B.; et al. Optimization of Extraction Process and Solvent Polarities to Enhance the Recovery of Phytochemical Compounds, Nutritional Content, and Biofunctional Properties of *Mentha Longifolia* L. Extracts. *Bioresour. Bioprocess.* **2025**, 12, 24–, doi:10.1186/S40643-025-00859-8.
10. A Malik, N.S.; Bradford, J.M. *Recovery and Stability of Oleuropein and Other Phenolic Compounds during Extraction and Processing of Olive (Olea Europaea L.) Leaves* WFL Publisher Science and Technology; 2005; Vol. 6;.
11. Şahin, S. A Novel Technology for Extraction of Phenolic Antioxidants from Mandarin (*Citrus Deliciosa* Tenore) Leaves: Solvent-Free Microwave Extraction. *Korean J. Chem. Eng.* **2015**, 32, 950–957, doi:10.1007/S11814-014-0293-Y/METRICS.
12. Waszkowiak, K.; Gliszczynska-Świąło, A. Binary Ethanol–Water Solvents Affect Phenolic Profile and Antioxidant Capacity of Flaxseed Extracts. *Eur. Food Res. Technol.* **2015**, 242, 777–786, doi:10.1007/S00217-015-2585-9.
13. Venkatesan, T.; Choi, Y.W.; Kim, Y.K. Impact of Different Extraction Solvents on Phenolic Content and Antioxidant Potential of *Pinus Densiflora* Bark Extract. *Biomed Res. Int.* **2019**, 2019, doi:10.1155/2019/3520675.

RF KONTROLLÜ GERİ BİLDİRİMLİ VİNÇ PROTOTİPİ TASARIMI**Cengizhan DEDE**

Konya Technical Uni., Faculty of Engineering and Natural Sciences, 42100 Selçuklu, Konya,
Türkiye

ORCID ID: 0009-0006-7627-1730**Prof. Dr. Ercan YALDIZ**

Konya Technical Uni., Faculty of Engineering and Natural Sciences, 42100 Selçuklu, Konya,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-2245-0654**ÖZET**

Bu çalışmada, STM32 tabanlı, kablosuz olarak kontrol edilebilen ve geri bildirim sağlayan bir mini vinç prototipi geliştirilmiştir. Vinçte faydalı yük olarak bir kafes kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, vinç hareketlerinin uzaktan kontrol edilebildiği ve iki yönlü haberleşmenin çalışma durumu ile kafes konumunun operatöre anlık olarak aktarılabilirdiği bir vinç sistemi prototipi oluşturmaktır. Sistem, kumanda birimi ve vinç birimi olmak üzere iki elektronik yapıdan oluşmaktadır. Kumanda biriminde joystickler aracılığıyla hareket komutları oluşturulmakta; birimler arası haberleşme durumu, vinç kolunun yatayda dönme açısı, doğru akım motorunun hareket durumu ve kafes konumu 2×16 LCD ekran üzerinden izlenebilmektedir. Vinç biriminde, kablosuz olarak alınan komutlara göre dönme hareketi bir servo motorla, kafesin düşey hareketi ise enkoderli bir doğru akım motoruyla gerçekleştirilmektedir. İki birim arasındaki kablosuz haberleşme nRF24L01 modülleriyle sağlanmıştır. Çift yönlü haberleşme sayesinde hareket komutları vinç birimine iletilirken, sistem durumu ve konum bilgileri geri bildirim olarak kumanda birimine aktarılmaktadır. Kafesin düşey konumu HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü ile ölçülmekte ve elde edilen bilgi kumanda ekranında operatöre gösterilmektedir. Güvenli çalışma için kafesin üst ve alt hareket sınırları yazılımla tanımlanmış; sınır değerlerine ulaşıldığında ilgili yöndeki motor hareketi engellenmiştir. Kafes en alt konumdayken vinç dönme hareketi de güvenlik amacıyla devre dışı bırakılmıştır. Ayrıca vinç hareket hâlindeyken sesli uyarı verilmiştir. Gerçekleştirilen testler, geliştirilen prototipin uzaktan kontrol, çift yönlü kablosuz haberleşme, konum geri bildirimi ve yazılım tabanlı hareket sınırlandırma işlevlerini birlikte yerine getirebildiğini göstermiştir..

Anahtar kelimeler: Çift yönlü haberleşme, geri bildirim, kablosuz kontrol, STM32, vinç

RF-CONTROLLED FEEDBACK CRANE PROTOTYPE DESIGN**ABSTRACT**

This study presents the design and implementation of an STM32-based mini-crane prototype with wireless control and feedback capabilities. A cage has been used as the payload. The system comprises a control unit and a crane unit. Motion commands generated by joysticks are transmitted via nRF24L01 transceivers, while connection status, crane rotation angle, DC motor status, and cage position are returned to the control unit and displayed on a 2×16 LCD. The crane unit uses an MG995 servo motor for rotation and an encoder-equipped DC motor, driven by a BTS7960 module, for vertical cage motion. An HC-SR04 ultrasonic sensor measures the sensor-to-cage distance; this measurement is used to determine cage position and enforce software-defined upper and lower travel limits. Crane rotation is disabled when the cage is at its lowest position, and a buzzer provides an audible warning whenever the crane is moving.

Bidirectional communication is implemented using the Auto-ACK and ACK Payload features of the nRF24L01. Tests have shown that the prototype can execute remote motion commands, provide system status and position feedback, and apply software-based motion constraints as intended. The developed platform therefore demonstrates the integration of embedded motor control, wireless communication, position monitoring, and basic safety functions in a small-scale crane prototype.

Keywords: Bidirectional communication, crane, feedback, STM32, wireless control

1. INTRODUCTION

Crane systems are widely used in industrial, construction, logistics, and manufacturing applications where loads need to be lifted, lowered, and transported to specific positions. In these systems, it is essential to ensure that load movements are performed safely and in a controlled manner, operator commands are executed correctly, and the system status can be monitored. In particular, keeping the load position, direction of movement, and operating limits under control directly affects system safety. Studies focusing on safe motion, load sway reduction, and improved control performance in crane systems have demonstrated the importance of these parameters in system design (Abdel-Rahman et al., 2003).

In conventional crane control systems, the operator is generally located on the crane or at a control point close to the system. Advances in wireless communication and tele-operation technologies have made it possible for operators to control crane movements while remaining at a distance from the system. Remote control structures not only allow operators to stay away from hazardous working environments but also enable the use of different control and monitoring interfaces (Sitompul, 2022; Yu et al., 2021). In addition, the ability to monitor system status, connection information, and load position in real time is important for safe and effective control. Studies have investigated the remote monitoring of field data in tower cranes and its use in safety-oriented warning systems (Li & Liu, 2012). Studies on tele-operated cranes have shown that presenting field information through an appropriate user interface can support operational and decision-making processes (Chi et al., 2012). Furthermore, interface designs that consider operator attention and safety requirements have been reported to contribute to reducing collision risk (Chen et al., 2016).

In this study, an STM32-based mini crane prototype combining wireless control and feedback functions has been developed. Motion commands generated in the control unit are transmitted wirelessly to the crane unit, while connection status, crane rotation angle, motor movement status, and cage position are transmitted back to the control unit as feedback. An ultrasonic distance sensor has been used to determine the vertical position of the cage, and software-based safe operating limits have been defined according to the measured position. Thus, the study aimed to integrate wireless communication, embedded-system-based motor control, feedback, position monitoring, and motion limitation functions into a single prototype.

2. SYSTEM DESIGN AND METHODOLOGY

2.1. System Design and Operating Principle

The developed mini crane system consists of two main electronic units: the control unit and the crane unit. The control unit is responsible for detecting operator commands, transmitting them wirelessly to the crane unit, and displaying the feedback received from the crane (Figure 1). The crane unit controls the servo and direct current motors according to the commands received from the control unit, determines the position of the cage, and transmits system status

information back to the control unit (Figure 2).

An STM32F407G-DISC1 development board has been used as the main control element in both units. The control unit includes joysticks, a 2×16 LCD display, and an nRF24L01 wireless communication module. In addition to the nRF24L01 module, the crane unit includes an MG995 servo motor, an encoder-equipped direct current motor, a BTS7960 motor driver, and an HC-SR04 ultrasonic distance sensor. The system software has been developed in the STM32CubeIDE environment using the C programming language.

The commands generated by the operator through the joysticks are evaluated by the STM32 microcontroller in the control unit, converted into motion commands, and transmitted to the crane unit via the nRF24L01 modules. According to the received command, the microcontroller in the crane unit controls the servo motor to perform the crane's rotational movement in the horizontal plane and the encoder-equipped direct current motor to perform the vertical movement of the cage. Information such as connection status, servo motor angle, direct current motor movement status, and cage position is transmitted from the crane unit back to the control unit and displayed to the operator on the LCD screen.

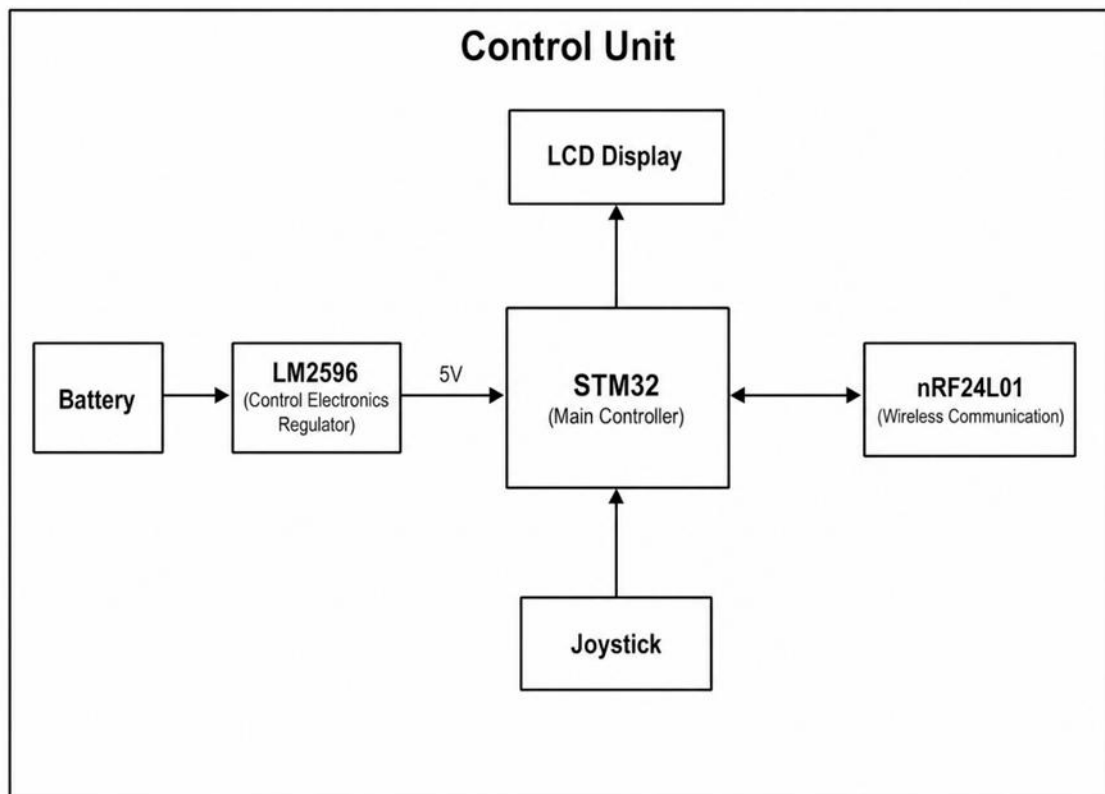


Figure 1. Block diagram of the control unit

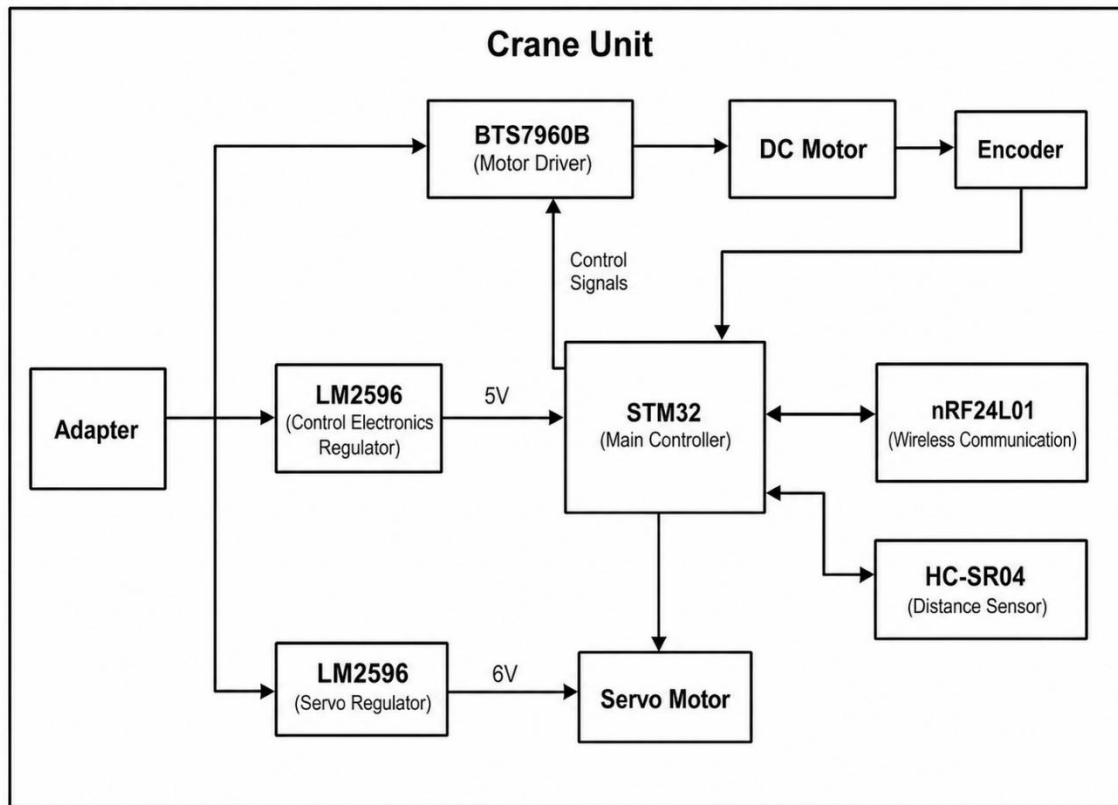


Figure 2. Block diagram of the crane unit

2.2. Design of the Control Unit

The control unit has been designed to enable the operator to remotely control the crane movements and monitor the feedback received from the system in real time. An STM32F407G-DISC1 development board has been used as the main control element. Joystick modules have been used to generate operator commands, a 2×16 LCD display has been used to present system status information, and an nRF24L01 module has been used for wireless communication with the crane unit (Figure 3).

The x- and y-axis data obtained from the joysticks are evaluated by the STM32 microcontroller and converted into control commands representing different movements of the crane system. These commands are transmitted to the crane unit through the wireless communication module, where the corresponding motor movements are performed. In this way, the operator can control both the left-right rotational movement of the crane arm and the vertical movement of the cage using the joysticks.

The control unit has been designed not only as a command transmission interface but also as a user interface that presents feedback received from the crane system to the operator. The wireless connection status, servo motor angle, direct current motor movement status, and vertical position of the cage are displayed on the LCD screen. Thus, command generation, wireless transmission, and feedback monitoring functions are integrated into a single control unit.



Figure 3. Final version of the developed control unit

2.3. Design of the Crane Unit

The crane unit has been designed to convert the motion commands received wirelessly from the control unit into physical crane movements and to generate system feedback. An STM32F407G-DISC1 development board has been used as the main control element. Wireless communication is provided through the nRF24L01 module, while an MG995 servo motor is used for the rotational movement of the crane and an encoder-equipped direct current motor is used for the vertical movement of the cage. The direct current motor is driven by a BTS7960 motor driver module.

The commands received from the control unit are evaluated by the STM32 microcontroller, and the corresponding actuator is operated according to the command type. An external power supply is used to meet the power requirements of the motors and to support stable operation of the control circuit. To determine the vertical position of the cage, an HC-SR04 ultrasonic distance sensor has been mounted at the upper section of the crane mechanism to measure the distance to the top surface of the cage. The measured distance is processed by the STM32 to determine the cage position and is also used to apply safe operating limits.

In addition, a buzzer is used to warn nearby personnel during crane movement. Thus, the crane unit has been designed to combine motion control, position measurement, motion monitoring, feedback generation, and basic safety functions within a single system (Figure 4).



Figure 4. Crane unit during the development stage

2.4. Wireless Communication and Feedback Structure

Wireless communication between the control unit and the crane unit has been implemented using two nRF24L01 modules. In both units, the STM32F407G-DISC1 microcontroller communicates with the nRF24L01 module through the SPI interface. Motion commands generated from the joysticks in the control unit are processed and transmitted to the crane unit, where the corresponding motors are operated according to these commands.

The system has been configured to operate in the 2.4 GHz ISM band, on channel 76, with a data transmission rate of 1 Mbps. Communication has been not limited to one-way command transmission; feedback from the crane unit to the control unit has been also implemented. For this purpose, the Auto-ACK and ACK Payload features of the nRF24L01 module have been utilized. These features are based on the automatic acknowledgment and acknowledgment payload mechanisms defined in the nRF24L01 product documentation (Nordic Semiconductor, 2007).

The feedback packet includes the servo motor angle, the operating status of the direct current motor, encoder information, and the cage position obtained from the HC-SR04 sensor. The connection status is also displayed on the control unit screen (Figure 5). Thus, the operator can both remotely control the crane movements and wirelessly monitor the current status of the system.

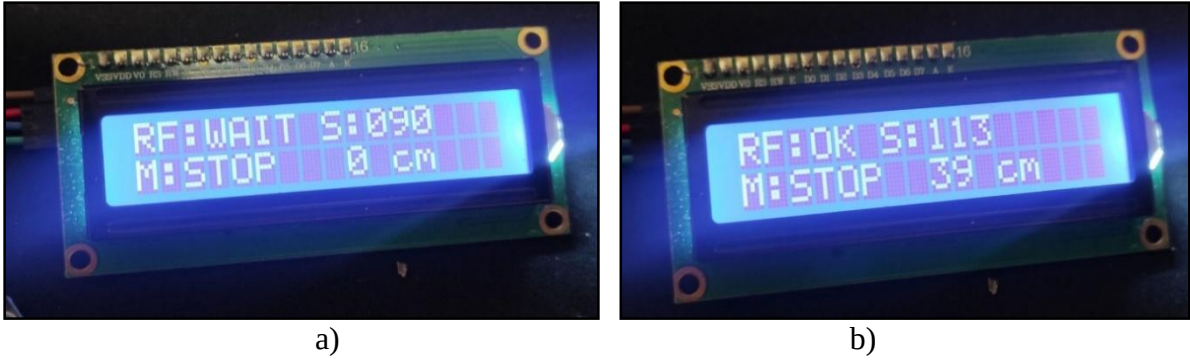


Figure 5. Display of (a) waiting for connection and (b) successful connection status on the LCD screen

2.5. Position Measurement and Safety Control

An HC-SR04 ultrasonic distance sensor has been used to monitor the vertical position of the cage and to apply safe operating limits. The sensor has been mounted at the upper section of the crane mechanism facing the top surface of the cage, and the distance between the sensor and the cage has been measured. To reduce the effect of sudden and erroneous measurement variations, particularly at short distances, a software-based filtering method has been applied by evaluating five consecutive sensor measurements and using their median value.

Upper and lower motion limits have been defined to prevent the cage from moving beyond the mechanical operating range. In the prototype, the upper limit has been set to approximately 12 cm and the lower limit to approximately 45 cm in terms of sensor-to-cage distance. When these limits are reached, motor movement in the corresponding direction is disabled by the software. When the cage is at its lowest position, the left-right rotational movement of the crane arm is also disabled for safety purposes. Final version of the RF-controlled crane prototype is shown in Figure 6.

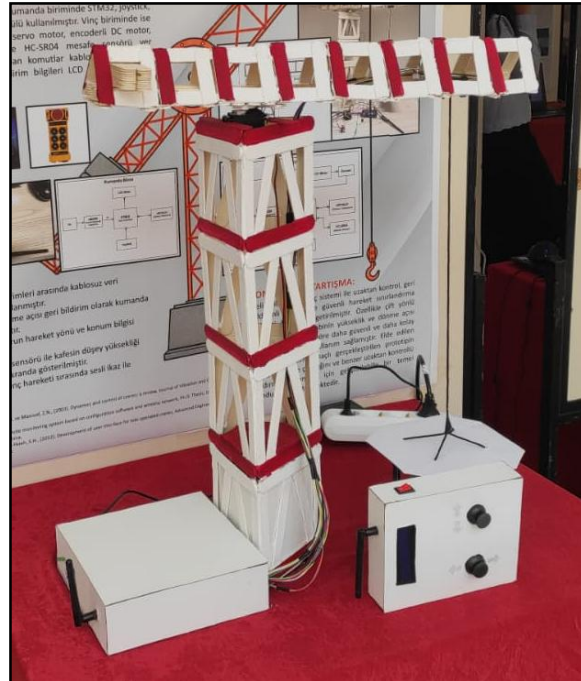


Figure 6. Final version of the RF-controlled crane prototype

In addition, an audible warning is generated whenever the servo motor or direct current motor is active in order to improve environmental awareness. Experimental tests have shown that the position information obtained from the HC-SR04 sensor can be used both for enforcing motion limits and for providing feedback to the operator.

3. CONCLUSION

In this study, an STM32F407G-DISC1-based mini crane system prototype has been developed that can be controlled wirelessly and provide feedback to the operator. Motion commands generated through the joysticks in the control unit have been transmitted to the crane unit, and the servo motor and encoder-equipped direct current motor have been controlled according to these commands. Through bidirectional communication, the system has been not limited to remote control; operating and position information obtained from the crane unit has been also transmitted back to the operator. Data obtained from the HC-SR04 ultrasonic distance sensor has been used to determine the vertical position of the cage and to apply software-based motion limits. When the defined upper and lower limit values are reached, motor movement in the corresponding direction is disabled, preventing the cage from moving beyond its operating range. In addition, an audible warning has been provided during crane movement to improve environmental awareness. Thus, position measurement, feedback, and basic safety functions have been integrated within a single system.

The conducted tests have been demonstrated that the prototype is capable of simultaneously performing remote control, bidirectional wireless communication, motor control, position monitoring, operator feedback, and software-based motion limitation functions. Although the system is a small-scale prototype, it demonstrates the combined applicability of embedded control, wireless communication, and feedback approaches used in remotely controlled lifting and handling systems. In future studies, the functionality and safety level of the system could be further improved by integrating different imaging and proximity sensors, load weight and size measurement systems, and more advanced control algorithms.

REFERENCES

- Abdel-Rahman, E. M., Nayfeh, A. H., & Masoud, Z. N. (2003). Dynamics and control of cranes: A review. *Journal of Vibration and Control*, 9(7), 863–908. <https://doi.org/10.1177/1077546303009007007>
- Chen, Y. C., Chi, H. L., Kang, S. C., & Hsieh, S. H. (2016). Attention-based user interface design for a tele-operated crane. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(3), 04015030. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000489](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000489)
- Chi, H. L., Chen, Y. C., Kang, S. C., & Hsieh, S. H. (2012). Development of user interface for tele-operated cranes. *Advanced Engineering Informatics*, 26(3), 641–652. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.05.001>
- Li, Y., & Liu, C. (2012). Integrating field data and 3D simulation for tower crane activity monitoring and alarming. *Automation in Construction*, 27, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.003>
- Nordic Semiconductor ASA. (2007). *nRF24L01 single chip 2.4 GHz transceiver product specification* (Version 2.0).
- Sitompul, T. A. (2022). Human–machine interface for remote crane operation: A review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(6), 45. <https://doi.org/10.3390/mti6060045>
- Yu, Z., Luo, J., Zhang, H., Onchi, E., & Lee, S.-H. (2021). Approaches for motion control interface and tele-operated overhead crane handling tasks. *Processes*, 9(12), 2148. <https://doi.org/10.3390/pr9122148>

II. ABDÜLHAMİD DÖNEMİ OSMANLI BASININDA SİYER YAZICILIĞININ KAYNAKLARI: TERCÜMÂN-I HAKÎKAT GAZETESİ ÖRNEĞİ

Ferda OKUYAN¹

Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Öğrencisi

ORCID ID: 0009-0000-4797-9111

Doç. Dr. Esra YILDIZ

Yalova Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslâm Tarihi ve Sanatları, Yalova, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-1236-7446

ÖZET

Bu çalışma, II. Abdülhamid (1876-1908) döneminde Osmanlı basınında yayımlanan siyer yazılarında başvuru kaynağı, *Tercümân-ı Hakikat* gazetesi örneği üzerinden ele almaktadır. Çalışmanın temel amacı, söz konusu yazılarda müelliflerin müracaat ettiği kaynakları tespit etmek ve bu kaynakların siyer yazıcılığı içerisindeki kullanım biçimlerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, *Tercümân-ı Hakikat* gazetesinde II. Abdülhamid döneminde yayımlanan siyer içerikli yazılar incelenerek, müelliflerin atıfta bulunduğu eserler ve bu eserlerin ait olduğu ilmi alanlar değerlendirilmiştir.

Araştırmamız neticesinde, gazetede siyer yazılarında klasik siyer kaynaklarının yanı sıra kelâm, tasavvuf ve farklı İslâmî ilimlere ait eserlerden de yararlandığı görülmektedir. Bu durum, dönemin siyer yazıcılığının yalnızca klasik siyer literatürüyle sınırlı bir kaynak kullanımına dayanmadığını, farklı ilmi birikimlerden de beslendiğini göstermektedir. Söz konusu kaynak tercihleri, II. Abdülhamid dönemi Osmanlı basınında dinî bilginin aktarımı ve siyer anlatısının şekillenmesine ilişkin önemli veriler sunmaktadır.

Bu yönüyle çalışma, *Tercümân-ı Hakikat* gazetesi üzerinden II. Abdülhamid dönemi Osmanlı basınında siyer yazıcılığının kaynak yapısını ortaya koymayı ve dönemin dinî düşünce ve basın tarihi içerisindeki yerinin anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İslâm Tarihi, Osmanlı Devleti, II. Abdülhamid, Gazete, Siyer Yazıcılığı.

SOURCES OF SĪRA WRITING IN THE OTTOMAN PRESS DURING THE REIGN OF ABDÜLHAMİD II: THE CASE OF THE TERCÜMÂN-I HAKÎKAT NEWSPAPER

ABSTRACT

This study examines the sources consulted in sîra writings published in the Ottoman press during the reign of Abdülhamid II (1876–1908), with particular reference to the *Tercümân-ı Hakikat* newspaper. The primary aim of the study is to identify the sources consulted by the authors of these writings and to examine the ways in which these sources were utilized within sîra writing. In this context, sîra-related articles published in *Tercümân-ı Hakikat* during the reign of Abdülhamid II were examined, and the works cited by the authors, as well as the fields of scholarship to which these works belong, were evaluated.

The findings of the study indicate that, in addition to classical sîra sources, works belonging to kalâm, Sufism, and other Islamic disciplines were also utilized in the sîra writings published in the newspaper. This demonstrates that sîra writing during the period was not based exclusively

¹ Bu tebliğ, yazarın “II. Abdülhamid Dönemi Osmanlı Basınında Siyer Yazıcılığı (1876-1908) Tercümân-ı Hakikat Özelinde” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

on the classical sîra literature, but was also informed by diverse scholarly traditions. These source preferences provide significant insights into the transmission of religious knowledge and the formation of sîra narratives in the Ottoman press during the reign of Abdülhamid II. In this respect, the study aims to reveal the source structure of sîra writing in the Ottoman press during the reign of Abdülhamid II through the example of *Tercümân-ı Hakikat*, and to contribute to a better understanding of its place within the history of religious thought and the press of the period.

Keywords: Islamic History, Ottoman Empire, Abdülhamid II, Newspaper, Sîra Writing.

GİRİŞ

Osmanlı basını, II. Abdülhamid döneminde (1876-1908) hem sayısal olarak artmış hem de yeni yasal düzenlemelere tabi tutulmuştur. Bu süreçte çıkarılan 1888 Matbaa Nizamnâmesi, basın üzerindeki denetimi daha sıkı bir hale getirmiştir. Bu nizamnamenin getirdiği en önemli kural, dinî konulardaki kitap ve risalelerin basılması için Maarif Nezâreti'nin ruhsatı ile Şeyhülislâmlık makamının onayının zorunlu kılınmasıdır (Ataman, 2021, ss. 18-22). Bu yasal zorunluluk, dönemin gazetelerinde yayımlanan dinî içerikli metinlerin ve siyer yazılarının belirli bir idari denetimden geçerek okuyucuya ulaştığını göstermektedir. Bu doğrultuda, dönemin en uzun soluklu yayın organlarından biri olan *Tercümân-ı Hakikat* gazetesi, siyer yazılarına yer veren önemli mecralardan biri olarak dikkat çekmektedir.

Baskı ve denetim koşullarına rağmen II. Abdülhamid dönemi basın hayatı yayın faaliyetlerini sürdürmüş, İstanbul'da birçok gazete ve dergi neşriyatına devam etmiştir. Siyasî içeriklerin yanı sıra fikrî, edebî ve dinî metinlere geniş yer ayıran bu mecralar arasında, başta *Tercümân-ı Hakikat* olmak üzere *Sabah*, *Tarîk*, *İkdâm* ve *Terakkî* gibi yayınlar kültürel sahada belirleyici bir rol üstlenmiştir (Gülmez, 2013, s. 7).

II. Abdülhamid devrinde saray kütüphaneleri ve özel koleksiyonlar ilmî hayatın merkezinde yer alsa da halkın büyük kesimine erişen en temel yayın vasıtası gazetelerdi. On dokuzuncu yüzyılda matbaacılığın ilerlemesiyle süreli yayınların yaygınlaşması, Osmanlı'da bilginin yayılma biçimini de dönüştürmüştür. Orhan Koloğlu'nun işaret ettiği gibi, Batı dünyası uzun bir kitap birikiminin ardından gazete okuma alışkanlığına geçerken, Osmanlı toplumu, yeterli kitap geçmişi olmaksızın doğrudan gazete merkezli bir neşriyat ortamıyla tanışmıştır. Bu dönemde pek çok eserin evvela gazetelerde tefrika edilmesi ve bu usulün yirminci asrın başlarına dek sürmesi, matbuat dünyasında gazetenin ne denli kilit bir konumda bulunduğunu ortaya koymaktadır (Koloğlu, 1992, s. 14). Bu doğrultuda gazete, sadece günlük haberlerin paylaşıldığı bir yer değil, aynı zamanda pek çok ilmî ve fikrî eserin okuyucuya sunulduğu bir vasıta olmuştur. *Tercümân-ı Hakikat* gazetesindeki siyer metinleri de bu dönemsal yayıncılık anlayışının bir ürünüdür. İncelenen bu yazıların bir kısmı ilerleyen süreçte ayrı bir kitap olarak basılırken, bir kısmı yalnızca gazete yapraklarında kalmıştır. Ne var ki her iki durumda da siyer muhtevasının okuyucuyla ilk buluştuğu zemin gazete olmuştur.

1. TERCÜMÂN-I HAKİKAT GAZETESİNİN ŞEKİL VE MUHTEVASI

II. Abdülhamid döneminin kültürel atmosferinde yayın hayatına başlayan *Tercümân-ı Hakikat*, Türk basın tarihinde merkezî bir yer edinmiştir. Gazete, bir yandan basın camiası için okul görevi görürken diğer yandan bilimsel bilgilerin halka ulaşmasında temel bir köprü olmuştur. Yayın yaptığı dönemde, Batı'daki bilimsel ve teknik gelişmeleri ülkeye tanıtan, realizm, natüralizm ve romantizm gibi yeni akımları aktaran neredeyse tek mecra konumundadır. Gazetenin "mektepten memlekete" ilkesiyle özetlenebilecek bu aydınlanma hareketi, padişahın toplumu eğitim yoluyla geliştirme siyasetiyle de tamamen uyumludur. Padişahın halkı zararlı

dış akımlardan koruma ve kültürel seviyeyi yükseltme isteği, Ahmed Midhat Efendi'nin yayıncılık amaçlarıyla birleşerek gazetenin her açıdan desteklenmesini sağlamıştır (Tekin, 1982, s. 29).

Osmanlı basın hayatında uzun soluklu bir varlık gösteren ve ilk sayısı 27 Haziran 1878 tarihinde neşredilen gazetenin resmî imtiyaz sahibi Mehmed Cevdet olarak kaydedilse de neşriyatın kurucu ve idari sorumluluğunu Ahmed Midhat üstlenmiştir. Otuz dört yıl boyunca kesintisiz bir şekilde okuyucuyla buluşan gazete, Ahmed Midhat'ın 28 Aralık 1912 tarihindeki vefatından sonra da yayımlanmaya devam etmiştir. Söz konusu gazetenin tespit edilen son nüshası 12 Kânunusânî 1340 (12 Ocak 1924) tarihli ve 15325 numaralı sayıdır (Tekin, 2011, s. 497).

Tercümân-ı Hakikat, tematik bir hiyerarşiyle yapılandırılan ilk sayfasında dış politikaya ağırlık vererek *İcmâl-i Ahvâl* ve *Muharrerât-ı Telgrâfiyye* sütunlarıyla dış dünyadaki gelişmeleri aktarmıştır. Gazete, *Mütenevvia* ve *Mevâd-ı Fenniye* gibi köşeleri aracılığıyla genel kültür, bilim ve ahlâk eksenli içerikler sunarak okurun bilgi seviyesini artırmayı hedeflemiştir. Bilimsel, edebî ve tarihî bilgileri halka ulaştırma misyonunu tefrika geleneğiyle sürdüren mecmua, *İlân-ı Mahsus* bölümleri ve okur mektupları sayesinde kitlelerle karşılıklı güçlü bir iletişim bağı kurmuştur (Yayman, 2019, ss. 73-74).

Gazetenin muhteva zenginliğinin somut bir tezahürü olarak, siyer anlatımlarını da içeren, ahlâkî temalardan eğitime kadar geniş bir yelpazeyi ihtiva eden yazılar mühim bir yer tutmaktadır. Bu doğrultuda neşriyatın sütunlarında çeşitli müellifler tarafından siyer içerikli eserler kaleme alınmıştır. Ahmed Midhat Efendi siyer konularını da kapsayan *Târîh-i Umûmî* adlı eseriyle bu isimlerden biri olarak dikkat çekmektedir (Ahmed Midhat, 1879, s. 4). Bununla birlikte doğrudan gazete için kaleme alınmamış olsa da Hüseyin el-Cisr'in Arapça olarak kaleme aldığı *er-Risâletü'l-Hamîdiyye* adlı eseri Manastırlı İsmail Hakkı tarafından Türkçeye çevrilerek gazete sütunlarında tefrika edilmiştir (Hüseyin el-Cisr, 1890a, s. 6). Neşriyatta öne çıkan bir diğer önemli isim ise doğrudan on dokuz sayılı bir tefrika ile gazete sütunlarında siyere yer veren Selânikli Tevfik Efendi'dir (Selânikli Tevfik, 1899, s. 1).

2. SİYER METİNLERİNDE KAYNAK KULLANIMI

Söz konusu siyer yazılarında müellifler, Hz. Peygamber'in hayatını ve ilmî verileri aktarırken zaman zaman çeşitli klasik kaynaklara ve tarihî rivayetlere atıflarda bulunarak metinlerini desteklemişlerdir. *Risâletü'l-Hamîdiyye* kaynaklı siyer anlatısında mütercim Manastırlı İsmail Hakkı, Allah'ın padişah, Hz. Peygamber'in elçi ve vahyin tuğra olarak somutlaştırıldığı temsili anlatımları değerlendirirken belâgat kurallarına müracaat etmiştir. Metinde, beyan ve belâgat imamlarının görüşleri bağlamında, benzetmelerdeki kelimelerin asıl manalarında kullanılarak soyut hakikatlerin somutlaştırıldığı vurgulanmıştır. Bu çerçevede, Yüce Allah için kullanılan sultan lafzının doğrudan hakiki bir isim olmadığı, aksine zihinlerdeki hakikatleri açıklığa kavuşturmayı amaçlayan bir benzetme olduğu belirtilmiştir. Mütercim bu noktada, kelâm, felsefe, mantık, fıkıh ve Arap dili gibi pek çok alanda uzmanlaşan, *Miftâhu'l'ulûm* adlı eseriyle belâgatı kelâm ve mantığın akılcı yöntemleriyle işleyerek onu ilmî bir disiplin haline getiren Sekkâkî'nin (Durmuş, 2009, ss. 332-333) kinayeli istiâre teorilerine atıfta bulunarak, Yüce Allah'ın benzeri ve dengi yok iken mukaddes zatının anlaşılması için bu tür misal ve benzetmelerin getirilmesinde dinî bir sakınca bulunmadığını ifade etmiştir (Hüseyin el-Cisr, 1890b, s. 6).

Siyer yazılarında Kur'an'ın i'câzı ve edebî üstünlüğü konusu işlenirken dönemin önde gelen otoritelerine müracaat edilmiştir. Bu bağlamda, Basra'da doğan, şiir, tarih ve edebiyat alanındaki çalışmalarıyla Arap nesrine mükemmel şeklini veren, Halife Me'mûn ve dönemin devlet büyükleri muhitinde bulunarak Kur'an'ın i'câzı ve belâgat konularında derinlemesine

tahliller yapan Câhiz'in (Şeşen, 1993, s. 20) bir makalesine yer verilmiştir. Câhiz söz konusu metninde, Hz. Peygamber'in tebliğ faaliyetleri karşısında Arap kabilelerinin ve özellikle Kureyş'in fesahat ve belâgatteki üstünlüklerine rağmen Kur'an'ın benzerini getirmekten aciz kaldıklarını vurgulamaktadır. Arap edebiyatının en kudretli şair ve hatiplerinin, inat ve taassuplarına rağmen yirmi üç yıllık süreçte bir tek sureye dahi karşılık verememiş olmasını Kur'an'ın beşer üstü bir kelâm olduğunun en büyük delili olarak sunan bu yaklaşım, siyer metinlerindeki tarihî ve akli delillendirme yönteminin somut bir tezahürünü oluşturmaktadır (Hüseyin el-Cisr, 1890c, s. 5).

Hz. Peygamber'in yazı yazıp yazmadığı meselesi *Risâletü'l-Hamîdiyye*'de tartışılan konular arasında yer almıştır. Bu çerçevede Mâlikî âlimi Kadı Ebû'l-Velîd el-Bâcî'nin görüşlerine de yer verilmiştir. İlgili bölümde el-Bâcî'nin Hz. Peygamber'in yazı yazmış olabileceğine dair naklettiği görüşler sebebiyle taassup sahibi çevrelerin ağır bir tepki göstererek kendisini tekfir ettiği, ancak farklı bölgelerdeki âlimlere müracaat edildiğinde onun haklılığını tasdik eden pek çok risale kaleme alındığı ifade edilmektedir (Hüseyin el-Cisr, 1891e, s. 6). Doğum yeri olan Kurtuba'daki ilk tahsilinin ardından Doğu İslâm ülkelerinde uzun yıllar süren ilmî seyahatleriyle hadis, fıkıh, kelâm ve usul sahasında derin bir mâlûmat elde eden, Endülüs'e döndükten sonra İbn Hazm ile yaptığı tartışmalardaki üstünlüğü, siyasî ilmi faaliyetleri ve *Sahîh-i Buhârî* rivayetindeki merkezi konumuyla tanınan el-Bâcî (Özel, 1991, s. 414), maruz kaldığı bu toplumsal gerilimler neticesinde *Tahkîkû'l-Mezheb* adlı eserini kaleme almıştır (Özsoy, 2009, s. 157). Gazete metninde doğrudan bu eserin adı zikredilmemiş olsa da tartışmanın mahiyetinden hareketle söz konusu esere işaret edildiği anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde, Hz. Peygamber'in sünneti, siyer meseleleri ve bunlara bağlı dinî kavramlar tarihten günümüze pek çok âlimin eserinde geniş tartışmalara ve şerhlere konu olmuştur. Bu bağlamda, Hüseyin el-Cisr'in *Risâletü'l-Hamîdiyye* adlı eserinde ele alınan siyer konularından biri de Hz. Peygamber'in ümmetine ibadette "ihsan" bilincini tavsiye etmesi meselesidir. Eserin mütercimi İsmail Hakkı, ilgili bahiste ihsan kavramına açıklık getirirken meşhur Cibrîl hadisine müracaat etmiş, bu hadis bağlamında Nevevî'nin *el-Erbaîn* adlı eserine atıfta bulunmuştur (Hüseyin el-Cisr, 1891c, s. 7). Şâfî mezhebinin önde gelen simalarından biri olan Nevevî 631 yılında Şam'ın Neva beldesinde dünyaya gelmiştir. Küçük yaşlardan itibaren ilim tahsiline yönelen ve özellikle hadis ile rical ilmindeki derin bilgisiyle tanınan müellif Şam'a yerleşerek ilmî faaliyetlerini burada yoğunlaştırmıştır (Aybey, 2018, s. 206). Dinin temel esaslarını ihtiva eden *el-Erba'üne'n-Neveviyye* adlı eseri, İbnü's-Salâh eş-Şehrezûrî'nin *el-Ehâdîssü'l-küllîyye* adlı çalışmasındaki yirmi altı hadise, çoğunluğu *Sahîh-i Buhârî* ve *Sahîh-i Müslim* kaynaklı on altı hadisin ilave edilmesiyle meydana gelmiştir. Müellif, telifinde hadislerin senedlerine yer vermemiştir. İslâm dünyasında asırlar boyu büyük bir kabul gören bu eser, başta Nevevî'nin kendi şerhi olmak üzere kırktan fazla âlim tarafından şerhedilmiştir. Tarih boyunca pek çok kez neşredilen, Batı ve Doğu dillerine tercüme edilerek çok sayıda akademik araştırmaya konu olmuştur (Kandemir, 2007, s. 47). Gazetede bahsi geçen Cibrîl hadisi söz konusu eserin "İslâm, İman ve İhsan" bölümünde yer almaktadır (İbnü's-Şeref en-Nevevî, t.y., ss. 22-23).

Gazetede yer alan bir diğer değerlendirmede, Hz. Peygamber'in ümmetine yönelik ahlâkî uyarıları ile vefatına yakın buyurduğu son tavsiyelerine yer verilmiştir. Bu bağlamda, "Farz namazları ikâme etmekten ve himâyeniz altındakileri gözetmekten geri durmayınız" meâlindeki hadis-i şerîf örnek gösterilmiş ve kaynak olarak İbn Mâce ile Ahmed b. Hanbel'in eserlerine işaret edilmiştir (Hüseyin el-Cisr, 1891d, s. 7). Bağdat'ta dünyaya gelen Ahmed b. Hanbel, Kur'an'ı ezberledikten sonra hadis ilmine yönelmiştir. Kûfe, Basra ve Hicaz gibi dönemin önemli ilim merkezlerine seyahatler gerçekleştiren müellif, kırk yaşına kadar süren yoğun

talebelik hayatının ardından ders okutmaya başlamıştır. Abbâsî halifelerinin Kur'an'ın mahlûk olduğu görüşünü dayattığı Mihne döneminde inancından asla taviz vermemiş olan müellif ilmî duruşuyla büyük bir saygınlık kazanmıştır (Kandemir, 1989, ss. 75-76). Alanındaki en tanınmış ve en hacimli çalışma olma özelliğini taşıyan *el-Müsned*, mutlak anlamda "Müsned" denildiğinde ilk akla gelen temel kaynaktır. İbn Hanbel'in ders halkaları oluşturduğu hicri 200 yılında telif etmeye başladığı bu eser, yaklaşık 700.000 rivayet arasından titizlikle süzülerek meydana getirilmiştir. Bir Müslümanın dinî hayatında ihtiyaç duyabileceği pek çok meselenin çözümüne kaynaklık etmesi yönüyle büyük bir kıymet taşıyan eser, tüm hadis otoritelerinin takdirini toplamış ve ilmî gelenekte sürekli müracaat edilen temel bir başvuru eseri olmuştur (Avcı, 2020, s. 20).

Kaynaklarda adı geçen diğer isim İbn Mâce, h. 209 yılında Kazvin'de dünyaya gelmiştir. İlk eğitiminin ardından Horasan, Irak, Mısır ve Şam gibi dönemin önemli ilim merkezlerine seyahatler gerçekleştirmiştir. Muhaddisliğinin yanı sıra müfessir ve tarihçi kimlikleriyle de tanınan müellif, güvenilirliği ve hafızasındaki ilmî zenginliği ile muhaddisler tarafından takdir edilmiştir. Hadis alanındaki önemli eseri *Sünen* 'le öne çıkan İbn Mâce, h. 273 yılı Ramazan ayında vefat etmiştir (Şanverdi, 2022, ss. 5-6). Kütüb-i Sitte'nin altıncı kitabı olan ve değeri zaman zaman tartışılan bu eser, fıkıh konularına göre düzenlenmiştir. Birçok muhaddise göre kitap ve bölüm düzeni açısından en kusursuz kaynaklardan biridir. İçinde çok az tekrar bulunması ve başlıkların konuları çok iyi yansıtması, eserin kullanımını oldukça kolaylaştırmaktadır. M. Fuad Abdülbâkî'nin baskısına göre mukaddime hariç 37 bölüm, 1515 başlık ve 4341 hadisten oluşan bu eser, tertip düzeniyle ön plana çıkmaktadır (Erkaya, 2004, ss. 63-64).

Siyer kapsamı içerisinde yer alan değerlendirmelerde Hz. Peygamber'in mucizelerine de değinilerek Kâdî İyâz'ın *eş-Şifâ* adlı eserine atıf yapılmıştır. Bu bağlamda mübarek parmakları arasından su fişkırması mucizesinin tevatür derecesinde bir ilimle ve çok sayıda isnatla her asırda büyük kalabalıklarla rivayet edildiği belirtilmiştir. Ayrıca Hâşim b. Abdülmuttalib soyundan gelen ve ömründe hiç yenilmemiş olan Rukâne ile Hz. Peygamber'in güreş tuttuğu ve onu iki kez yendiği kıssasının da yine aynı eserde zikredildiği ifade edilmiştir (Hüseyin el-Cisr, 1890e, s. 7). Adı geçen müellif h. 476 yılında Sebte'de dünyaya gelmiş ve doğum yerine nisbetle Sebtî nisbesiyle anılmıştır. Çocukluğundan itibaren ilimle iç içe bir hayat sürerek fıkıh, hadis, nahiv, nesep, şiir ve edebiyat gibi pek çok alanda uzmanlaşmıştır. Kâdî İyâz, döneminin önde gelen âlimlerinden dersler almış güçlü zekâsı ve ilmî birikimiyle hem yaşadığı döneme hem de sonrasına iz bırakmıştır (Arslan, 2022, ss. 37-38).

Müellif, yakın çevresinin Hz. Peygamber'in üstün değerini, O'na duyulması gereken saygıyı ve O'na dil uzatanların dinî hükmünü anlatan bir eser kaleme alması yönündeki ısrarlı talepleri üzerine *eş-Şifâ* adlı eseri kaleme almıştır. Dört bölümden oluşan kitapta Allah katında Hz. Muhammed'in yüce şanı, ümmetin O'na karşı sorumlulukları, Hz. Peygamber hakkında düşünülmesi ve söylenmesi caiz olan hususlar ve ona dil uzatanlar veya noksanlık izafe edenler hakkındaki hükümlere dair bilgiler ele alınmıştır (Köten, 1998, s. 274). İslâm dünyasında büyük bir ilgi gören bu eser, üzerine yapılan şerh ve tercüme çalışmalarıyla ilim geleneğinde merkezi bir konuma yerleşmiştir. Âlimler tarafından sahasında benzersiz ve zirve bir eser olarak nitelendirilen kitap, halk ve devlet nezdinde büyük bir hürmet görmüştür. Kuzey Afrika'dan Osmanlı coğrafyasına kadar evlerde bereket, şifa ve korunma vesilesi olarak bulundurulmuş, Osmanlı döneminde resmî bir gelenek olarak camilerde okunmuş ve Şifâ-hân adı verilen müderrisler görevlendirilerek hatimler yapılmıştır. Nitekim Sultan II. Abdülhamid'in de sürgün günlerinde Çanakkale savaşlarının zaferle sonuçlanması için bu eseri okuduğu

kaydedilmektedir. Ayrıca Avrupalılara Hz. Muhammed'in üstünlüğünü anlatmak için bu eserin tek başına yeterli olacağını ifade edilmesi, *eş-Şifâ*'nın evrensel ve ilmî değerini gözler önüne seren dikkat çekici bir diğer husustur (Kandemir, 2010, ss. 134-135).

eş-Şifâ'da zikredilen bu nebevî mucizelerle birlikte Hz. Peygamber'in mübarek isminin sığınanlar için manevî bir kalkan oluşu Mesnevî'deki şu anlam çerçevesinde dile getirilmiştir: "Hz. Ahmed'in mübarek ismi insana öyle bir destek ve koruma sağlar ki, onun nûru adeta insanı kollayan bir muhafız gibidir. O mübarek isim sığınanlar için adeta sağlam bir kale olunca, Rûh-ül-Emîn'in zatının ne kadar yüce bir korunak olacağı şüphesizdir" (Hüseyin el-Cisr, 1891a, s. 5). Bu derin manayı daha iyi açıklamak amacıyla Âbidin Paşa hazretlerinin kıymetli makalesine başvurulmuştur. Âbidin Paşa yazısında özetle şu hususlara dikkat çeker: Dünya yaratılalı beri kâinatın iftiharî efendimiz kadar yüceltilmiş bir insan yoktur. Nitekim şerefli ismi günde beş vakit minarelerde anılmaktadır. O'nun getirdiği tertemiz şeriatla putperestlik ortadan kalkmış, koyduğu prensipler bugünkü medeniyetin temelini oluşturmuştur. Kur'an-ı Kerîm'de insanın çalışmasının karşılığı olduğu gerçeği, O'nun hayatında en güzel karşılığını bulmuştur. Tıp biliminden uluslararası hukuka, ekonomi politikten idare hukukuna kadar hayatın her alanına dair getirdiği hikmetli açıklamalar ilim erbabının hayranlığını kazanmıştır. Savaş meydanındaki eşsiz cesareti ile barış zamanındaki zarafet ve merhameti yalnızca Müslümanlar tarafından değil, Avrupalı gayrimüslim tarihçi ve bilim insanları tarafından da takdirle ifade edilmiştir (Hüseyin el-Cisr, 1891b, s. 5).

Hz. Peygamber'i öven Mesnevî beyitlerini şerh eden Âbidin Paşa, Osmanlı'nın son döneminde hem devlet adamlığı hem de ilmî ve edebî şahsiyetiyle öne çıkan önemli bir figürdür. 1843 yılında Preveze'de doğmuş, devletin buhranlı ve reform arayışlarıyla geçen çalkantılı bir yüzyılında yetişmiştir. İyi bir medrese ve özel eğitim alarak genç yaşta diller, mantık ve fen bilimleri alanında yetkinleşmiş, saraydaki hizmetinin ardından pek çok merkezde mutasarrıflık ve valilik görevlerinde bulunmuştur. Devlet adamlığının yanı sıra ilmî ve tasavvufî yönüyle de tanınan Paşa'nın en önemli eseri, *Mesnevî* şerhleri arasında yer alan ve altı ciltlik eserin ilk cildini şerh ettiği çalışmasıdır. Müellif eserin mukaddimesinde dünyadaki en büyük lezzeti Kur'an-ı Kerîm'den sonra *Mesnevî-i Şerîf*'i mütalaa etmekten aldığını belirtir. İnsanoğlunun akli ve ruhuyla üretebileceği hiçbir eserin *Mesnevî* ile boy ölçüşemeyeceğini, her dizesinin büyük bir hikmet hazinesi olduğunu vurgular. Bu hikmetlerin sığ düşünenlere acı, derin düşünenlere ise neşe verdiğini ifade eden Paşa, herkesin kolayca istifade edebilmesi için açık, sade ve öz bir üslûp benimsemiştir (Mete & Furat, 2023, ss. 507, 511).

Müellif, eserindeki bu nebevî tasvirlerin ardından Hz. Peygamber'in mucizelerine yer vermeyi sürdürerek ağacın şehadeti mucizesine değinmiştir. Aktarılan rivayete göre, Hz. Peygamber'in daveti üzerine bir Semure ağacının gelerek Allah'ın birliğine ve O'nun peygamberliğine şahadet ettiği, buna şahit olan bedevinin ise hemen iman ettiği belirtilmiştir. Müellif, Hz. Peygamber'in gösterdiği bu yüce mucizenin klasik İslâm edebiyatındaki yankısına da dikkat çekerek *Kasîde-i Bür'e*'deki şu beyte yer vermiştir: "Ağaçlar secde ederek onun davetine geldi / Ona doğru ayaksız bir sap üzerinde yürüdü" (Hüseyin el-Cisr, 1890d, s. 6). Mısırlı sûfî ve şair Muhammed b. Saîd el-Bûsîrî tarafından kaleme alınan ve asıl ismi "*El-Kevâkibü'd-dürriye fî medhi hayri'l-beriyye*" olan bu eser şairinin hastalıktan kurtulmasına vesile olduğu için de *Kasîde-i Bürde* adıyla şöhret bulmuştur. Kâ'b b. Züheyr'in kasidesiyle karışmaması adına özellikle Osmanlı kültür muhitinde *Kasîde-i Bürde* yerine *Kasîde-i Bür'e* olarak da anılan eserin şöhreti, büyük ölçüde şair Bûsîrî'nin geçirdiği felçten bu şiir sayesinde kurtulduğuna dair rivayete dayanmaktadır. Bûsîrî'nin kendi divanında yer alması da ilk defa İbn Şâkir el-Kütübî tarafından aktarılan ve Hz. Peygamber'in rüyada şairin üzerine hırkasını örtüp şifa vermesini konu alan

bu menkıbevî rivayet, kasidenin halk arasında şifa vesilesi olarak görülmesinde etkili olmuştur. On bölümden oluşan eser, nefisten şikâyet, nebevî övgü, doğum, mucizeler, Kur'an, mi'rac, cihad ve dua gibi konuları ihtiva eder. Yapı ve üslûp bakımından son derece sağlam olan kaside, yapısal zenginliğinin yanı sıra dertlere şifa umulan yönüyle de asırlardır İslâm coğrafyasının her kesiminde büyük bir ilgi görmüştür (Kaya, 2001, s. 568).

SONUÇ

II. Abdülhamid dönemi basın hayatı, bir yandan sıkı idari ve yasal denetimlerle kuşatılırken diğer yandan toplumsal ve kültürel kalkınmanın en temel taşıyıcılarından biri olmuştur. Bu tarihi ve kültürel bağlamda, "mektepten memlekete" düşüncesiyle hareket eden *Tercümân-ı Hakikat* gazetesi, dönemin fikir hayatına yön veren öncü mecraların başında gelmiştir. Ahmet Midhat Efendi'nin liderliğinde uzun soluklu bir neşriyat çizgisi izleyen gazete, siyasi ve edebî içeriklerin yanı sıra, Osmanlı okuyucusuna İslâm dininin kurucu metinlerini ve Hz. Peygamber'in hayatını aktaran zengin bir siyer içeriği sunmuştur.

İncelenen metinler doğrultusunda, *Tercümân-ı Hakikat* sütunlarında neşredilen siyer yazılarının gazetecilik faaliyetinden ziyade, derin bir ilmi geleneğin ve geniş bir referans ağının ürünü olduğu açıkça görülmektedir. Hüseyin el-Cisr'in *er-Risâletü'l-Hamîdiyye* adlı eserinin Manastırlı İsmail Hakkı tarafından Türkçeye çevrilerek tefrika edilmesi, bu transfer sürecinin en somut örneğini teşkil etmektedir. Bu vesileyle gazete sütunlarında, Sekkâkî'nin belâgat teorilerinden Câhiz'in Kur'an'ın i'câzına dair tahlillerine, Kadı İyâz'ın *eş-Şifâ*'sındaki nebevî mucizelerden Kadı Ebû'l-Velîd el-Bâcî'nin ilmi müdafaalarına kadar pek çok klasik otoritenin görüşü Osmanlı okur kitleleriyle buluşturulmuştur.

Ayrıca metinlerde yer verilen Cibrîl hadisi bağlamındaki Nebevî atıfları, İbn Mâce ile Ahmed b. Hanbel'in *Müsned*'ine dayandırılan nebevî tavsiyeler, Âbidin Paşa'nın *Mesnevî* şerhleri ve Bûsîrî'nin *Kasîde-i Bür'e*'si üzerinden aktarılan beyitler, dönemin siyer yazımının sadece tarihi bir biyografi aktarımından ibaret olmadığını göstermektedir. Bu yazılar kelâm, felsefe, hadis, tasavvuf ve edebiyat disiplinlerini bir araya getiren sentez niteliği taşımaktadır.

Sonuç olarak, *Tercümân-ı Hakikat* gazetesinde yayımlanan siyer metinleri, XIX. yüzyılın son çeyreğinde Osmanlı müelliflerinin klasik İslâm ilim mirasını dönemin modern basın imkânları ve gazete tefrika geleneği vasıtasıyla nasıl yeniden yorumlayıp geniş kitlelerin istifadesine sunmuştur. Bu yönüyle söz konusu neşriyat, hem Osmanlı basın tarihi hem de siyer yazıcılığı geleneği içerisinde köprü vazifesi gören ihmal edilemez bir hafıza alanı olarak büyük bir kıymet arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmed Midhat. (1879, Şubat 4). Târîh-i Umûmî. *Tercümân-ı Hakikat*, (186), 4.
- Arslan, M. (2022). *Endülü's'te Siyer Yazıcılığı* [Yüksek Lisans Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ataman, A. (2021). *II. Abdülhamid Döneminde Dini Eserlerin Basım ve Denetimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Avcı, M. S. (2020). *Ahmed b. Hanbel'in Müsned'inde Yer Alan Hz. Ebû Bekir'e Ait Rivayetlerin İsnat ve Muhteva Açısından İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dicle Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Avşar, Z., Özdemir, M., & Uçar, A. (Ed.). (2023). *Mesnevî'nin Türkçe Şerhleri*. Selçuk Üniversitesi Yayınları.
- Aybey, S. (2018). Din Eğitimi ve Öğretiminde Kırk Hadis Geleneği -Nebevî Örneği-. *Dinbilimleri Akademik Araştırma Dergisi*, 18(3), 201-228.

- Durmuş, İ. (2009). Sekkâkî, Ebû Ya'kûb. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 36, ss. 332-334). TDV Yayınları.
- Erkaya, M. (2004). *İbn Mâce'nin Hadis Kültüründeki Yeri* [Doktora Tezi]. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Gülmez, M. (2013). 2. *Abdülhamid Dönemi (1876-1908) Basının Dili* [Doktora Tezi]. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hüseyin el-Cisr. (1890a, Eylül 23). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3660), 6.
- Hüseyin el-Cisr. (1890b, Ekim 31). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3693), 6-7.
- Hüseyin el-Cisr. (1890c, Kasım 14). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3705), 5-6.
- Hüseyin el-Cisr. (1890d, Kasım 19). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3709), 6.
- Hüseyin el-Cisr. (1890e, Aralık 4). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3722), 7.
- Hüseyin el-Cisr. (1891a, Ocak 6). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3740), 5.
- Hüseyin el-Cisr. (1891b, Ocak 7). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3741), 5-6.
- Hüseyin el-Cisr. (1891c, Ocak 10). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3744), 7.
- Hüseyin el-Cisr. (1891d, Ekim 20). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (3980), 7.
- Hüseyin el-Cisr. (1891e, Aralık 8). *Mevâd-ı Hikemiyye* (Manastırlı İsmail Hakkı, Çev.). *Tercümân-ı Hakikat*, (4022), 6.
- İbnü's-Şeref en-Nevevî. (t.y.). *El-Erbâine'n-Neveviyye* (Muâz Muhammed Cevher, Çev.). Ed-Dâru'd-Dimaşkiyye-Mektebetü İbnü'l-Kayyim.
- Kandemir, M. Y. (1989). Ahmed b. Hanbel. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 2, ss. 75-80). TDV Yayınları.
- Kandemir, M. Y. (2007). Nevevî. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 33, ss. 45-49). TDV Yayınları.
- Kandemir, M. Y. (2010). Eş-Şifâ. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 39, ss. 134-138). TDV Yayınları.
- Kaya, M. (2001). Kasidetü'l-Bürde. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 24, ss. 568-569). TDV Yayınları.
- Koloğlu, O. (1992). *Osmanlı'dan Günümüze Türkiye'de Basın*. İletişim Yayınları.
- Köten, A. (1998). Kadı İyaz, Hayatı, Eserleri ve eş-Şifa'sının Özellikleri. *Uludağ Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 7(7), 269-278.
- Özel, A. (1991). Bâcî. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 4, ss. 414-415). TDV Yayınları.
- Özsoy, A. (2009). Hz. Peygamber'in Ümmiliği Hakkında Bir Tartışma Ebû'l-Velid El-Bâcî Örneği. *Atatürk Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, (31), 151-170.
- Selânikli Tevfik. (1899, Ocak 15). *Esbâb-ı Teâlî-i İslâm*. *Tercümân-ı Hakikat*, (6367), 1.
- Şanverdi, H. (2022). *İbn Mâce'nin Sünen'indeki Mevzû Rivayetler ve Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

- Şeşen, R. (1993). Câhiz. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 7, ss. 20-24). TDV Yayınları.
- Tekin, M. (1982). Halkımızı Okumaya Alıştıran İlk Gazete: Tercüman-ı Hakikat. *Edebiyat Mecmuası*, (12), 28-33.
- Tekin, M. (2011). Tercümân-ı Hakikat. İçinde *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (C. 40, ss. 497-498). TDV Yayınları.
- Yayman, İ. G. (2019). *Tercüman-ı Hakikat Gazetesi (2501-3000. Sayılar) İnceleme ve Seçilmiş Metinler* [Yüksek Lisans Tezi]. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

GÜMÜŞ GÖÇ VE KENTSEL YABANCILAŞMA: ALANYA'DA AVRUPALI EMEKLİLERİN VARLIĞINA YÖNELİK YEREL ALGI VE MEKÂNSAL TEHDİT ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Hurigül EKEN

Selçuk University, Faculty of Letters, Department of
Sociology, 42130, Konya

ORCID ID: 0000-0001-9914-9718

ÖZET

Bu çalışma, Akdeniz bölgesinin önemli ulusötesi emekli göçü merkezlerinden biri olan Alanya'da, yerel halkın Avrupalı emekli göçmenlerin varlığını nasıl algıladığını, kentsel alanın dönüşümünü nasıl anlamlandırıldığını ve bu sürecin yarattığı mekânsal yabancılaşma ile tehdit duygularını incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden Yorumlamacı Fenomenolojik Analiz (YFA) benimsenmiş; Alanya kent merkezinde yaşayan ve ölçüt örnekleme yöntemiyle seçilen 16 yerel sakinle yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Veriler Gerçekçi Çatışma Kuramı, Entegre Tehdit Kuramı ve Mekân Kimliği yaklaşımları süzgecinden geçirilerek analiz edilmiştir. Araştırma bulguları, Avrupalı emeklilerin yüksek satın alma gücüyle konut piyasasını domine etmesinin yerel halk nezdinde derin bir "gerçekçi tehdit" (barınamaz hale gelme, ekonomik kaynaklara erişimde dezavantaj) yarattığını göstermektedir. Öte yandan, kentsel kamusal alandaki dilsel ve ticari dönüşüm "sembolik tehdit" algısını beslemekte; yerel sakinlerin kentle kurdukları aidiyet bağını zayıflatarak "kendi memleketinde yabancılaşma" hissini tetiklemektedir. Çalışma, mekânsal yakınlığın kendiliğinden bütünleşmeyi getirmediğini, aksine yapısal eşitsizliklerle desteklendiğinde paralel yaşam alanları ve örtük kent gerilimleri ürettiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gümüş Göç, Kentsel Yabancılaşma, Entegre Tehdit Kuramı, Mekân Kimliği, Alanya, Yorumlamacı Fenomenolojik Analiz.

Abstract This study aims to examine how local residents perceive the presence of European retiree migrants, how they assign meaning to the transformation of urban space, and the resulting feelings of spatial alienation and threat in Alanya, a prominent hub for transnational retirement migration in the Mediterranean region. Adopting Interpretative Phenomenological Analysis (IPA), a qualitative research design, semi-structured interviews were conducted with 16 local residents selected through criterion sampling in central Alanya. The data were analyzed through the lenses of Realistic Conflict Theory, Integrated Threat Theory, and Place Identity approaches. The findings reveal that the domination of the housing market by European retirees due to their high purchasing power creates a profound "realistic threat" (inability to afford housing, economic disadvantage) among locals. Furthermore, the linguistic and commercial transformation of the urban public space feeds the perception of "symbolic threat," eroding locals' sense of place belonging and triggering "alienation in one's own hometown." The study demonstrates that spatial proximity does not inherently facilitate social integration; rather, when combined with structural inequalities, it produces parallel living spaces and implicit urban tensions.

Keywords: Silver Migration, Place Alienation, Integrated Threat Theory, Place Identity, Alanya, Interpretative Phenomenological Analysis.

SILVER MIGRATION AND URBAN ALIENATION: LOCAL PERCEPTIONS AND SPATIAL THREAT ANALYSIS REGARDING THE PRESENCE OF EUROPEAN RETIREES IN ALANYA

ABSTRACT

This study aims to examine how local residents perceive the presence of European retired migrants, how they interpret the transformation of urban space, and the feelings of spatial alienation and threat generated by this process, through the lens of Alanya—one of the most prominent hubs of transnational retirement migration along the Mediterranean coastline. By addressing the socio-spatial reflections of global population movements at the local level, the study seeks to comprehensively analyze the elements of threat and the sense of spatial alienation created by urban transformation processes in the experiences of local residents.

In the methodological framework of the research, Interpretative Phenomenological Analysis—a qualitative research design effective in uncovering the world of meaning behind individual experiences—was adopted. As part of the fieldwork, semi-structured in-depth interviews were conducted with 16 local residents residing in Alanya city center, selected in accordance with a criterion sampling strategy. The primary qualitative data collected were rigorously evaluated through the analytical frameworks provided by Realistic Conflict Theory, Integrated Threat Theory, and Place Identity theoretical approaches.

The empirical findings obtained indicate that the domination of the housing and real estate market by European retirees through their high purchasing power produces a deep perception of "realistic threat" among the local populace. This situation heightens local residents' anxiety over being deprived of housing opportunities and leads them to feel disadvantaged in accessing economic resources. On the other hand, the linguistic, symbolic, and cultural transformation processes observed in urban public and commercial spaces feed the "symbolic threat" dimension. This transformation weakens the historical and emotional bonds of belonging that local residents have established with their city, distinctly triggering an experience of "alienation in one's own hometown" in urban life.

In conclusion, this study clearly demonstrates that physical and spatial proximity alone does not automatically bring about social integration. On the contrary, processes backed by deep economic inequalities construct segregated "parallel living spaces" within the city that do not interact with one another, generating implicit socio-cultural tensions in daily urban life over the long term.

Keywords: Silver Migration, Urban Alienation, Integrated Threat Theory, Place Identity, Alanya, Interpretative Phenomenological Analysis.

1. Giriş

Uluslararası göç hareketleri tarihsel süreçte çoğunlukla iş gücü odaklı, ekonomik zaruretler veya siyasi istikrarsızlıklar nedeniyle gerçekleşirken; 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren küreselleşme, ulaşım teknolojilerindeki gelişmeler ve ulusötesi emeklilik imkânları yeni göç

tiplerini ortaya çıkarmıştır (King, 2002, s. 91; Gustafson, 2008, s. 452). Bu yeni göç dinamiklerinin en belirgin biçimlerinden biri, gelişmiş kuzey ülkelerindeki yüksek gelirli emekli bireylerin, daha elverişli iklim koşulları, düşük yaşam maliyetleri ve yüksek yaşam kalitesi sunan güney coğrafyalarına yönelmesiyle karakterize edilen "gümüş göç" veya "ulusötesi emekli göçü"dür (Warnes, 2009, ss. 48-50; Benson & O'Reilly, 2009, s. 610).

Bu dönüşümün en belirgin tezahürlerinden biri; gelişmiş Kuzey ve Batı Avrupa ülkelerindeki yüksek satın alma gücüne sahip bireylerin, emeklilik dönemlerinde daha ılıman iklim koşulları, düşük yaşam maliyetleri, cazip gayrimenkul imkânları ve yüksek yaşam kalitesi sunan Güney Avrupa ve Akdeniz coğrafyalarına yönelmesiyle ortaya çıkan "gümüş göç" veya literatürdeki diğer karşılıklarıyla "ulusötesi emekli göçü" ve "yaşam tarzı göçü"dür (Warnes, 2009, ss. 48-50; Williams vd., 2000, s. 31).

Ulusötesi emeklilik mobilitesi, ilk olarak 1960'lı ve 1970'li yıllardan itibaren İngiliz, Alman ve İskandinav vatandaşlarının İspanya (özellikle Costa Blanca ve Torrevieja bölgeleri), Portekiz (Algarve) ve İtalya (Toscana) gibi Kuzey Akdeniz kıyılarına yerleşmesiyle kitlesel bir boyut kazanmıştır (Casado-Diaz, 2006, s. 1323; Oliver, 2008, s. 112). 1990'lı yıllara gelindiğinde ise Akdeniz çanağındaki bu göç haritası doğuya doğru genişlemiş; Türkiye'nin güney kıyıları, özellikle de Alanya, Avrupalı emekliler için bir çekim merkezine dönüşmüştür (Balkır & Kırkulak, 2009, s. 105; Kaiser, 2004, s. 401).

Türkiye'de Akdeniz çanağı, özellikle de Alanya, 1990'lı yıllardan itibaren Avrupalı (özellikle Alman, İskandinav) ve Rus emekliler için cazip bir yerleşim odağı haline gelmiştir (Balkır & Kırkulak, 2009, s. 105). İlk dönemlerde dönemsel ve kısa süreli turizm faaliyeti olarak başlayan bu yönelim, zamanla mülk edinimi ve sürekli yerleşime dönüşerek Alanya'nın demografik, sosyo-kültürel ve mekânsal dokusunda köklü dönüşümlere yol açmıştır (Kaiser, 2004, s. 401; Nudralı & Evren, 2016, ss. 48-50). Bu süreç, Alanya'yı tipik bir Akdeniz tatil kentinden, çok kültürlü fakat aynı zamanda kendi içinde sosyo-mekânsal gerilimler barındıran ulusötesi bir emeklilik odağı hâline getirmiştir.

Gümüş göçün ev sahibi kentlerde yarattığı etkiler, göç ve kent sosyolojisi literatüründe uzun süre tek taraflı bir illüzyonla ele alınmıştır. Çalışmaların önemli bir kısmı; dış sermaye girişi, gayrimenkul ve inşaat sektöründeki canlılık, hizmet sektörünün gelişmesi, kentsel altyapının modernleşmesi ve kent imajının uluslararası alanda yükselmesi gibi iktisadi ve fiziksel boyutlara odaklanarak gümüş göçü "olumlayıcı" bir yaklaşımla değerlendirmiştir (Williams vd., 2000, s. 35; Warnes, 2009, s. 55).

Ancak yerleşik yerel nüfus ile sonradan kente eklenilen yüksek satın alma gücüne sahip ulusötesi göçmen grup arasındaki mekânsal, ekonomik ve simgesel karşılaşmaların ürettiği gerilimler, ayrışmalar ve sosyo-psikolojik kırılmalar sıklıkla ikincilleştirilmiştir (Oliver, 2008, ss. 114-116).

Özellikle son dönemde yaşanan küresel ve ulusal ölçekli ekonomik dalgalanmalar, yüksek enflasyonist baskılar ve Alanya konut piyasasının uluslararası talep doğrultusunda aşırı ısınması, kentsel kaynaklara erişim dengesini yerel halk aleyhine bozmuştur. Güçlü döviz rezervlerine ve euro/sterlin bazlı emekli maaşlarına sahip Avrupalı göçmenlerin kentsel mekânı kapatması, yerel halkın barınma gibi en temel kentsel haklarını tehdit eder hale gelmiştir (Unutulmaz, 2014, s. 892; Ekiz & Ekiz, 2020, s. 120).

Bu durum, Alanya'da yerel toplum nezdinde Avrupalı emeklilere yönelik algının "ekonomik katkı sağlayan sempatik konuk" profilinden, "mekânsal, ekonomik ve simgesel bir tehdit" unsuruna kaymasına zemin hazırlamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı; Alanya kent merkezinde uzun yıllardır ikamet eden yerel nüfusun, Avrupalı emekli göçmenlerin kentteki varlığını nasıl deneyimlediğini, kentsel alanın hızlı dönüşümünü nasıl anlamlandırdığını ve bu sürecin yerel halkta yarattığı mekânsal yabancılaşma ile tehdit algılarını Yorumlamacı Fenomenolojik Analiz (YFA) ışığında derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır.

2. Kavramsal ve Kuramsal Çerçeve

2.1. Gümüş Göçün Sosyolojisi ve Küresel Asimetri

Gümüş göç basit bir turizm veya yerleşim hareketliliği olmanın ötesinde, küresel düzeydeki gelir eşitsizliklerinin ve döviz kuru farklarının mekânsal bir avantaja dönüştürüldüğü ulusötesi bir mobilite biçimidir (Benson & O'Reilly, 2009, s. 612). Gelişmiş Batı ve Kuzey Avrupa refah devletlerinde orta-üst sınıf bir emeklilik hayatı sürmekte zorlanan bireyler, coğrafi arbitraj mekanizmasını kullanarak satın alma güçlerinin katlanarak arttığı Güney ülkelerine göç etmektedirler (Warnes, 2009, s. 52).

Bu durum, göç edenler açısından bir "yaşam kalitesi arayışı" olarak deneyimlenirken (Benson & O'Reilly, 2009, s. 609), ev sahibi kentsel topluluklar açısından yapısal ve eşitsiz bir karşılaşma alanına dönüşmektedir.

Gümüş göçmenler, geldikleri ülkelerdeki ekonomik birikimlerini ve döviz bazlı gelirlerini ev sahibi kentin gayrimenkul ve tüketim piyasalarına aktararak kentsel mekânın yeniden yapılandırılmasında aktif fail haline gelirler (King, 2002, s. 95; Gustafson, 2008, s. 455). Ancak bu aktarım, homojen bir kalkınma yaratmaktan ziyade, kent içinde sermayeye erişimi olan aktörler (müteahhitler, gayrimenkul danışmanları, lüks turizm işletmeleri) ile sabit gelirli yerel sakinler (kamu görevlileri, emekliler, kiracılar, hizmet sektörü çalışanları) arasında derin bir sosyo-ekonomik uçurum inşa eder (Balkır & Kırkulak, 2009, s. 110; Kaiser, 2004, s. 405).

2.2. Gerçekçi Çatışma ve Entegre Tehdit Kuramı

Gruplararası ilişkilerde önyargı, ayrımcılık ve tehdit algısını açıklamada Muzafer Şerif tarafından geliştirilen Gerçekçi Çatışma Kuramı temel bir zemin sunar (Sherif, 1966, s. 12). Kurama göre gruplar arasındaki düşmanlık ve tehdit algısı, çekişme ve olumsuz tutumlar; soyut psikolojik yönelimlerden ziyade, grupların kıt ve sınırlı kaynaklar (konut stokları, iş alanları, ekonomik refah, kamusal hizmetler) üzerinde girdikleri gerçek veya algılanan sıfır toplam rekabetten kaynaklanır (Bobo, 1983, s. 1198; Campbell, 1965, ss. 28-30).

Bu teorik yaklaşımı genişleten Walter Stephan ve C. G. Stephan tarafından geliştirilen Entegre Tehdit Kuramı ise gruplararası tehditleri iki ana eksenle kavramsallaştırmaktadır: *Gerçekçi Tehditler* ve *Sembolik Tehditler* (Stephan & Stephan, 2000, ss. 25-28). Gerçekçi tehditler grubun fiziksel varlığına, ekonomik refahına, politik gücüne ve kaynağa erişimine yönelik algılanan riskleri kapsarken; sembolik tehditler grubun değerler sistemine, inançlarına, diline, kültürüne ve yaşam tarzına yönelik tehdit algılarını ifade eder (Stephan vd., 1999, s. 2223; Stephan & Stephan, 2000, s. 29).

Alanya ölçeğinde gümüş göçmenlerin yüksek satın alma gücüyle konut piyasasını domine etmesi, konut piyasasında mülkiyet ve kira fiyatlarını artırması **gerçekçi tehdit** alanını doğrudan tetiklemektedir. Buna karşılık, kentsel kamusal alandaki ticari tabelaların, menülerin ve gündelik dil peyzajının Almanca, Rusça veya İngilizceye evrilmesi, yerel halkın kültürel ve simgesel dünyasına yönelik **sembolik tehdit** alanını beslemektedir.

2.3. Mekân Kimliği ve Kentsel Yabancılaşma

Mekân, yalnızca coğrafi enlem ve boylamlardan ya da betonarma yapılardan müteşekkil nötr bir fon değildir; aksine bireylerin ve toplulukların anılar, deneyimler, toplumsal pratikler ve aidiyetler üzerinden sürekli ürettikleri ve anlamlandırdıkları sosyo-kültürel bir inşadır

(Lefebvre, 1991, s. 26; Relph, 1976, s. 43). Harold Proshansky tarafından kavramsallaştırılan "Mekân Kimliği, bireyin benlik algısının fiziksel çevreyle olan etkileşimi ve bu çevreye yüklediği simgesel anlamlarla şekillenen boyutunu ifade eder (Proshansky, 1978, s. 152; Proshansky vd., 1983, ss. 59-61).

Harold Proshansky tarafından çevre psikolojisi ve sosyolojisine kazandırılan "Mekân Kimliği" kavramı, bireyin benlik tanımının ve kimlik algısının, içinde yaşadığı fiziksel çevreyle kurduğu etkileşim ve bu çevreye yüklediği simgesel anlamlarla şekillenen boyutunu ifade etmektedir (Proshansky, 1978, s. 152; Proshansky vd., 1983, ss. 59-61). Birey, mekânı deneyimledikçe onu benliğinin bir uzantısı haline getirir. Kent sakini, yaşadığı çevreyle kurduğu bu bağ sayesinde kentsel aidiyet ve güvenlik hissi geliştirir (Gieryn, 2000, s. 468).

Ancak kentsel mekânın yerel sakinin kontrolü dışında, dışsal dinamiklerle (örneğin gümüş göçmenlerin tüketim kalıpları ve talepleri doğrultusunda soylulaşması, ticarileşmesi veya yabancılaşması) tüketim kalıpları ve talepleri doğrultusunda soylulaşması, ticarileşmesi veya yabancılaşması) hızlı ve radikal biçimde değişmesi, bireyin mekânla kurduğu bağın kopmasına ve "kentsel yabancılaşma" deneyimlemesine yol açar. Bu kopuş, literatürde "**kentsel yabancılaşma**" ve "**yersizleşme**" olarak kavramsallaştırılmaktadır (Marcuse, 1986, s. 158; Davidson, 2009, s. 222). Bu süreçte yerel halk, kendi kentinde "yerinden edilmiş" veya "yabancılaşmış" hissetmeye başlar (Relph, 1976, s. 82; Atkinson, 2000, s. 312).

Marcuse (1986, s. 160) ve Davidson (2009, s. 225), kentsel yerinden edilmenin yalnızca fiziksel bir tahliye (*direct displacement*) ile sınırlı olmadığını; bireyin doğup büyüdüğü veya uzun yıllardır yaşadığı mahallede, dükkanların, simgelerin ve komşuluk yapısının değişmesi neticesinde deneyimlediği psikolojik ve simgesel bir yerinden edilme (*displacement pressure / indirect displacement*) şeklinde de gerçekleştiğini vurgular. Yerel halk, fiziksel olarak evinde kalmaya devam etse dahi, kentin kamusal alanlarında kendisini "yabancı", "izleyici" ve "ayrıştırılmış" hissetmeye başlar (Atkinson, 2000, s. 312).

2.4. Sosyal Temas Hipotezi ve Asimetrik Karşılaşmalar

Gordon Allport tarafından geliştirilen **Sosyal Temas Hipotezi**, farklı toplumsal gruplar arasındaki yüz yüze etkileşimin önyargıları ve kalıp yargıları azaltabileceğini savunur (Allport, 1954, ss. 281-283). Ancak Allport, temasın olumlu sonuç üretebilmesi için 4 temel yapısal koşulun yerine getirilmesi gerektiğini kesin bir dille belirtmiştir:

Eşit Statü: Grupların etkileşim anında benzer sosyo-ekonomik ve algısal statüye sahip olması.

Ortak Hedefler: Grupların birlikte ulaşmaya çalıştığı amaçların varlığı.

Kurumsal Destek: Temasın yasalar, otorite ve toplumsal normlarca teşvik edilmesi.

İş Birliği: Rekabetçi olmayan, karşılıklı bağımlılığa dayalı etkileşim.

Alanya'da yerel halk ile Avrupalı emekli göçmenler arasındaki sosyo-mekânsal temas incelendiğinde, bu koşulların neredeyse hiçbirinin sağlanamadığı görülmektedir (Balkır & Kırkulak, 2009, s. 112; Oliver, 2008, s. 118). Karşılaşmalar; eşit statüde bir toplumsal komşuluktan ziyade, "hizmet sunan yerel esnaf/çalışan" ile "yüksek satın alma gücüne sahip ulusötesi tüketici" arasındaki asimetrik ve ticari bir eksene hapsolmaktadır (Casado-Diaz, 2006, s. 1330).

Bu tür eşit olmayan ve rekabetçi temaslar, önyargıları kırmak bir yana, gruplar arasındaki mesafeyi pekiştirmekte, "biz ve onlar" ayrımını keskinleştirmekte ve bir arada yaşam yerine "paralel yaşam alanlarının" ve gettolaşmanın doğmasına yol açmaktadır (Stephan & Stephan, 2000, s. 32; Davidson, 2009, s. 230).

3. Yöntem

Bu çalışma, yerel halkın Avrupalı emekli göçmenlerin kentteki varlığına ilişkin niteliksel algılarını, öznel deneyimlerini ve anlam dünyalarını derinlemesine incelemek amacıyla nitel araştırma desenlerinden Yorumlamacı Fenomenolojik Analiz yaklaşımıyla tasarlanmıştır (Smith vd., 2009, ss. 11-16). Fenomenoloji, bireylerin belirli bir olguya (bu çalışmada gümüş göç ve kentsel dönüşüm) yükledikleri anlamları ve bu olguyu nasıl deneyimlediklerini açığa çıkarmayı hedefler (Creswell, 2013, s. 78; van Manen, 2016, s. 34).

Fenomenoloji, bireylerin belirli bir olguyu –bu çalışmada gümüş göç ve kentsel dönüşüm– nasıl tecrübe ettiklerini, bu tecrübelerden nasıl bir anlam dünyası inşa ettiklerini ve olgunun özünü anlamayı hedefler (Creswell, 2013, s. 78; van Manen, 2016, s. 34).

3.1. YFA Epistemolojisi ve Kuramsal Temelleri

Yorumlamacı Fenomenolojik Analiz, teorik ve felsefi olarak üç temel sacayağı üzerine oturmaktadır: *Fenomenoloji*, *Hermenötik* ve *İdiyografik İnceleme* (Smith vd., 2009, ss. 16-22): **Fenomenolojik Boyut:** Edmund Husserl'in felsefesine dayanan fenomenoloji, insanın dünyayı "olduğu gibi" nasıl deneyimlediğine odaklanır. YFA, katılımcıların gündelik yaşam alanlarında karşılaştıkları gümüş göç olgusunu kendi algı süzgeçlerinden nasıl geçirdiklerini ve birinci şahıs ağzından nasıl tecrübe ettiklerini betimlemeyi esas alır (Smith vd., 2009, s. 18; van Manen, 2016, s. 38).

Hermenötik Boyut: Martin Heidegger'in "Dünyada-Var-Oлма" felsefesinden beslenen hermenötik yaklaşım, hiçbir deneyimin tarafsız bir boşlukta gerçekleşmediğini, daima bir yorumlama sürecine muhtaç olduğunu savunur. YFA'da "çift düzeyli hermenötik" ilkesi geçerlidir: Katılımcı kendi yaşadığı kentsel dönüşüm deneyimine anlam vermeye çalışırken, araştırmacı da katılımcının bu anlamlandırma çabasını deşifre edip yorumlamaktadır (Smith vd., 2009, s. 21).

İdiyografik Boyut: YFA, genel geçer ve evrensel yasalara ulaşmayı hedefleyen nomotetik yaklaşımların aksine; mikro, tekil ve özgül durumlara odaklanan idiyografik bir niteliğe sahiptir. Bu doğrultuda araştırmacı, evrensel genellemeler yapmaktan kaçınarak, belirli bir mekânsal ve tarihsel bağlam içinde (Alanya kent merkezi, 2025 dönemi) yaşayan 16 katılımcının öznel deneyim dünyasına derinlemesine nüfuz etmeyi amaçlar (Smith vd., 2009, s. 29; Kvale, 2007, s. 48).

3.2. Çalışma Grubu ve Örneklem Seçimi

YFA araştırmalarında idiyografik derinliği koruyabilmek ve homojen bir deneyim grubuna ulaşabilmek adına küçük, tanımlı ve amaçsal örneklem tercih edilmektedir (Smith vd., 2009, s. 51). Araştırmanın çalışma grubu, amaçsal örnekleme yöntemlerinden "**ölçüt örnekleme**" tekniği kullanılarak belirlenmiştir (Patton, 2015, s. 268). Katılımcıların belirlenmesinde aranan temel ölçütler: En az 10 yıldır Alanya kent merkezinde sürekli ikamet ediyor olmak, (b) Kentsel mekânın dönüşümüne doğrudan tanıklık etmiş olmak ve (c) Avrupalı emekli göçmenlerle kamusal, ticari veya komşuluk düzeyinde temas deneyimine sahip olmaktır.

Katılımcıların araştırmaya dahil edilmesinde aranan temel kriterler şunlardır:

- (a) En az 10 yıldır Alanya kent merkezinde kesintisiz biçimde ikamet ediyor olmak (kentsel mekânın tarihsel ve sosyo-ekonomik dönüşümüne bizzat tanıklık etmiş olma şartı),
- (b) Avrupalı emekli göçmenlerle kamusal, ticari, komşuluk veya gündelik yaşam düzeyinde doğrudan veya dolaylı temas deneyimine sahip olmak,

(c) Araştırma konusuna ilişkin öznel algı ve deneyimlerini zengin bir biçimde ifade edebilecek dilsel ve anlatısal yetkinliğe sahip olmak.

Bu kriterler doğrultusunda Alanya'nın merkez mahallelerinde (Güller Pınarı, Çarşı, Saray, Şekerhane ve Mahmutlar çeperi) yaşayan ve farklı mesleki/sosyo-demografik arka planlara sahip **16 yerel sakin** çalışma grubuna dahil edilmiştir. Örneklem büyüklüğü, veri toplama sürecinde YFA standartlarına uygun olarak veri doygunluğuna ulaşıldığında neticelendirilmiştir (Creswell, 2013, s. 82).

Tablo 1: Çalışma Grubunun Sosyo-Demografik Matrisi (N = 16)

Katılımcı Kodu	Cinsiyet	Yaş	Meslek / Statü	İkamet Süresi (Yıl)	Yaşadığı Mahalle / Bölge	Mülkiyet Durumu
K1	Erkek	48	Esnaf (Çarşı Esnafı)	28	Çarşı Mahallesi	Kiracı (İşyeri & Ev)
K2	Kadın	39	Bankacı	14	Güller Pınarı	Ev Sahibi
K3	Erkek	42	Esnaf (Hediyelik Eşya)	22	Saray Mahallesi	Kiracı
K4	Erkek	56	Emekli Memur	31	Şekerhane	Ev Sahibi
K5	Kadın	29	Mimar	11	Güller Pınarı	Kiracı
K6	Erkek	61	Emekli Öğretmen	35	Saray Mahallesi	Ev Sahibi
K7	Kadın	45	Ev Hanımı	25	Şekerhane	Kiracı
K8	Kadın	51	Öğretmen	19	Güller Pınarı	Ev Sahibi
K9	Erkek	34	Garson / Hizmet Sektörü	10	Mahmutlar (Çeper)	Kiracı
K10	Erkek	53	Taksi Şoförü	29	Çarşı Mahallesi	Kiracı
K11	Kadın	47	Serbest Meslek (Terzi)	21	Saray Mahallesi	Ev Sahibi
K12	Erkek	63	Emekli Esnaf	40	Güller Pınarı	Ev Sahibi
K13	Kadın	36	Muhasebeci	15	Şekerhane	Kiracı
K14	Erkek	50	Emlak Danışmanı	18	Saray Mahallesi	Ev Sahibi
K15	Kadın	41	Hemşire	16	Güller Pınarı	Kiracı
K16	Erkek	58	Küçük Sanayi Esnafı	33	Şekerhane	Ev Sahibi

3.3. Veri Toplama Araçları ve Süreç

Veriler, araştırmacılar tarafından teorik çerçeveye uygun olarak hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır (Kvale, 2007, s. 56; Smith vd., 2009, s. 57). Görüşmeler 2025 yılı Haziran-Ağustos ayları arasında Alanya'da gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara kentsel alanın değişimi, konut erişimi, dilsel ve kültürel peyzaj dönüşümü, gündelik karşılaşmalar ve kentsel aidiyet hissi odağında sorular yöneltilmiştir. Görüşmeler ses kaydına alınmış ve kelimesi kelimesine deşifre edilmiştir.

3.3. Veri Toplama Araçları ve Süreci

Araştırmanın verileri, YFA ilkelerine uygun olarak araştırmacı tarafından hazırlanan **yarı yapılandırılmış görüşme formu** aracılığıyla toplanmıştır (Kvale, 2007, s. 56; Smith vd., 2009, s. 57). Görüşme formu, teorik çerçevede ele alınan Gerçekçi Çatışma, Entegre Tehdit ve Mekân Kimliği yaklaşımları doğrultusunda kurgulanmış; esnek, açık uçlu ve katılımcıların öznel dünyalarını özgürce ifade etmelerine imkân tanıyacak biçimde yapılandırılmıştır.

Görüşme formunda yer alan temel eksen soruları şunlardır:

1. Alanya'nın son 10-15 yıl içerisindeki mekânsal ve sosyo-ekonomik değişimini kendi yaşamınız üzerinden nasıl değerlendiriyorsunuz?
2. Avrupalı emekli göçmenlerin kentteki varlığı, sizin ve ailenizin konut erişimi ve gündelik yaşam maliyetleriniz üzerinde nasıl bir etki yarattı?
3. Alanya'daki ticari işletmelerin, tabelaların ve kamusal dil peyzajının değişimini nasıl algıyorsunuz? Bu durum kentle kurduğunuz aidiyet bağını nasıl etkiliyor?
4. Gündelik yaşamda (parklar, sahiller, kafeler, pazar yerleri) Avrupalı emeklilerle nasıl ve ne düzeyde karşılaşıyorsunuz? Bu karşılaşmalarda kendinizi nasıl hissediyorsunuz?
5. Kendi kentinizde yaşarken kendinizi "ev sahibi" mi yoksa "yabancı/yerinden edilmiş" mi hissediyorsunuz? Neden?

Saha çalışması ve görüşmeler 2025 yılı Haziran-Ağustos ayları arasında Alanya kent merkezinde gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler, katılımcıların kendilerini rahat hissedebilecekleri sessiz mekânlarda (çay bahçeleri, katılımcıların işyerleri veya ev ortamları) yürütülmüştür. Her bir görüşme ortalama 45 ile 75 dakika arasında sürmüştür; katılımcıların yazılı ve sözlü onamları alınarak dijital ses kayıt cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Deşifre sürecinde metinler hiçbir kelime değiştirilmeksizin kelimesi kelimesine yazıya aktarılmış ve toplam 184 sayfalık ham veri metni elde edilmiştir.

3.4. Verilerin Analizi

Verilerin analizinde Smith, Flowers ve Larkin (2009, ss. 82-101) tarafından geliştirilen altı aşamalı YFA analiz süreci izlenmiştir:

1. Deşifre metinlerinin tekrar tekrar okunması ve metne uyum sağlama,
2. Tanımlayıcı, dilbilimsel ve kavramsal düzeyde ilk notların alınması,
3. Notlardan hareketle emergent (ortaya çıkan) temaların geliştirilmesi,
4. Temalar arasındaki bağlantıların kurulması ve kümeleme,
5. Bir sonraki duruma/katılımcıya geçilmesi (idiyografik odak),
6. Durumlar arası ortak ve farklılaşan ana/alt temaların oluşturulması.

4. Bulgular

4.1. Gerçekçi Tehdit Algısı: Konut Krizi, Fiyat Sıçramaları ve Mekânsal Yerinden Edilme

Görüşmelerden elde edilen veriler, yerel halkın gümüş göçmenlerin varlığına yönelik en güçlü tepkisinin "ekonomik ve barınma kaynaklı gerçekçi tehditler" alanında yoğunlaştığını, konut piyasası olduğunu göstermektedir (Stephan & Stephan, 2000, s. 26). Katılımcılar, yabancı nüfusun alım gücünün yerel halkın sosyo-ekonomik kapasitesini aşması nedeniyle barınma hakkının kısıtlandığı, kiraların ve gayrimenkul fiyatlarının erişilemez seviyelere ulaştığı hususunda hemfikirler. Avrupalı emeklilerin yüksek döviz alım gücü nedeniyle konut fiyatlarının ve kiraların yerel halkın ödeme kapasitesinin çok üzerine çıktığını ifade etmektedirler (Ekiz & Ekiz, 2020, s. 124). Bu durum, Blumer'in Grup Konum Teorisi çerçevesinde, yerel nüfusun geleneksel olarak sahiplendiği kaynaklar (erişilebilir konut, yerel mekân kullanımı) üzerindeki ayrıcalıklı konumunu kaybetme endişesinden doğan bir "gerçekçi tehdit" algısına tekabül etmektedir. Aynı zamanda, Gerçekçi Çatışma Kuramı'nın öngördüğü

şekilde sınırlı kaynaklar (konut stokları) üzerindeki rekabetin gruplararası gerilimi ve hınc duygusunu artırdığını doğrulamaktadır (Sherif, 1966, s. 18; Bobo, 1983, s. 1201).

"Eskiden Alanya'da memur, emekli rahatça ev kiralardı. Şimdi bir daire olmuş 20-25 bin lira. Avrupalı emekli için 700-800 Euro hiçbir şey değil, adam tık diye veriyor. Bizim kendi çocuklarımız evlenince oturacak ev bulamıyor. Şehrin dışına, köylere kaçmak zorunda kaldık. Kendi memleketimizde parya olduk." (K3, Erkek, 42, Esnaf)

Kira artışları ve kent çeperine zorunlu göç (mekânsal yerinden edilme), özellikle sabit gelirli veya orta-alt sosyo-ekonomik gruptaki yerel sakinler tarafından doğrudan bir hayatta kalma mücadelesi olarak tanımlanmaktadır.

"Ben 15 yıldır aynı mahallede emlakçılık yapıyorum, böyle bir piyasa kırılması görmedim. Avrupalı emekli geliyor, Euro bazında aldığı emekli maaşıyla bizim 5 yılda biriktiremeyeceğimiz parayı bir yılda konut taksitine ya da kiraya yatırabiliyor. Yerel halktan bir memur, bir öğretmen ya da yeni evli bir çift gelip 'Kiralık ev var mı?' diye sorduğunda yüzüm kızarıyor. Çünkü ev sahibi Euro üzerinden 800-1000 Euro kira istiyor. Bizim insanımız bu parayı veremez. Sonuç ne oluyor? Alanyalı kendi memleketinde merkeze uzak köylere, çeperele kaçmak zorunda kalıyor. Bu sadece bir fiyat artışı değil; resmen yerel halkın kendi kentinden sürülmesi, mekânsal bir yerinden edilmedir." (K4, Erkek, 48, Emlakçı / Yerel Esnaf)

Görüşmelerde öne çıkan bir diğer boyut ise yabancı alıcıların piyasaya girmesiyle birlikte mülk sahiplerinin tutum değişikliği ve bu durumun toplumsal dokuda yarattığı ahlaki/sosyal aşınmadır. Yerel halk, ekonomik sermayenin üstünlüğü karşısında kendi kentinde ikinci sınıf vatandaş konumuna düştüğünü hissetmektedir.

"Ev sahibim geçen yıl beni evden çıkarmak için bahaneler uydurmaya başladı. Meğer arka planda Alman bir emekli çiftle anlaşmış. Benim TL olarak ödediğim kirayı az buluyor, adamın dövizle vereceği paraya bakıyor. Haklı mı ekonomik olarak? Kendince haklı olabilir ama biz bu kentin yerlisiyiz. Yıllardır komşuluk yaptığımız insanlar bir anda döviz görürken bizi kapının önüne koydu. Şimdi kentin 25 kilometre dışındaki bir beldede oturuyorum, her gün işe gidip gelmek ayrı eziyet. Avrupalı emekli denizin kıyısında keyif çatarken, ben kendi doğduğum memlekette kiramı ödeyebilmek için iki işte çalışıyorum. Bu durum doğrudan bizim barınma hakkımıza yapılmış bir tecavüzdür." (K11, Kadın, 34, Kamu Çalışanı)

4.2. Sembolik Tehdit ve Dilsel Peyzajın Dönüşümü: Yabancılaşma ve Kimlik Erozyonu

Alanya kent merkezinde ve Mahmutlar gibi yabancı nüfusun yoğunlaştığı beldelerde yürütülen saha gözlemleri ve derinlemesine görüşmeler, tehdit algısının yalnızca ekonomik faktörlerle sınırlı kalmadığını; kültürel, sembolik ve kimlik alanlara da yayıldığını ortaya koymaktadır. Tabela, vitrin, menü ve kamusal alan duyurularının belirgin biçimde Almanca, Rusça veya İngilizceye evrilmesiyle karakterize olan "dilsel peyzaj" değişimi, yerel sakinler arasında yoğun bir "kendi kentinde yabancılaşma" hissi uyandırmaktadır.

"Mahmutlar'a veya merkeze gittiğinizde dükkanların tabelalarına bakın. Türkçe hiçbir şey yok. Fırına giriyorsunuz, eleman önce Almanca veya Rusça 'Hallo' diyor. Ben kendi ülkemde derdimi anlatmak için yabancı dil mi öğrenmek zorundayım? Şehir bizim ama kimliği bizden çıkmış." (K8, Kadın, 51, Öğretmen)

Bu ifadeler yerel sakinlerin bir diğer güçlü tepkisinin, kentsel kamusal alandaki hızlı simgesel değişime ilişkin olduğunu ortaya koymaktadır. Çarşı merkezindeki, sahil şeridindeki ve hizmet sektöründeki ticari işletmelerin tabela, menü ve iletişim dillerinin Almanca, Rusça ve İngilizceye kayması, yerel halkta "kültürel ve simgesel tehdit" algısı yaratmaktadır. Bu durum Stephan ve Stephan'ın Entegre Tehdit Teorisi bağlamında değerlendirildiğinde; dil, semboller ve kamusal alanın görsel yapısındaki bu dönüşüm, yerel halkın kültürel değerlerine, dilsel

egemenliğine ve kentsel aidiyetine yönelik doğrudan bir "sembolik tehdit" olarak algılanmaktadır (Stephan & Stephan, 2000, s. 29; Landry & Bourhis, 1997, s. 25).

Bu deneyim, Landry ve Bourhis (1997, ss. 27-29) tarafından kavramsallaştırılan "dilsel peyzaj"ın yerel nüfus aleyhine dönüşmesinin, bireylerin mekân üzerindeki sembolik hakimiyetlerini kaybetmelerine neden olduğunu göstermektedir.

"Mahmutlar'a ya da Atatürk Caddesi'nin üst kısımlarına gittiğinizde Türkiye'de olduğunuzu anlamakta zorlanıyorsunuz. Dükkan tabelaları Almanca, Rusça... Türkçe alt yazı bile koymaya tenezzül etmiyorlar. Markete giriyorsunuz, kasiyer doğrudan Almanca selam veriyor. Ben kendi ülkemde, kendi memleketimde derdimi anlatmak için yabancı dil bilmek zorunda mıyım? Fırından ekmek alırken bile Türkçe konuşulmayan bir sokak yapısı türedi. Bu görünürlük bizim kültürümüzü, dilimizi görünmez kılıyor. Tabela deyip geçmeyin; o tabela buranın kime ait olduğunu gösteren bir bayraktır. O bayrak değiştiğinde kendinizi evinizde değil, işgal altında gibi hissediyorsunuz." (K7, Erkek, 56, Emekli Öğretmen)

Sembolik tehdit algısı, kamusal mekanların kullanım biçimleri ve sokaktaki sosyal etkileşimlerin niteliği üzerinden daha da derinleşmektedir. Görüşmeciler, kamusal alanın dilsel ve görsel olarak dönüştürülmesinin, yerel halk ile yerleşik yabancılar arasında hibrit veya bütünleşmiş bir kültür yaratmaktan ziyade, yan yana yaşayan ama birbirine tamamen teğet geçen paralel toplumlar ve gettolar oluşturduğunu vurgulamaktadır.

"Sokağa çıktığımda gördüğüm manzara bana ait değil artık. Restoranların menüleri Euro ile yazılmış, garsonlar Türkçe konuşan müşteriye ikinci sınıf muamelesi yapıyor, doğrudan yabancıya yöneliyor. Türkçe tabela asmak sanki ayıp ya da gericilikmiş gibi bir algı yaratıldı. Bu dilsel peyzajın değişmesi sadece ticari bir tercih değil; mekânın ruhunun ve kimliğinin değiştirilmesidir. Çocuklarım sokakta yürürken kendi dilini, kendi kültürünün işaretlerini göremiyor. Biz burada azınlık durumuna düşürüldük. Avrupalı buraya uyum sağlamak için gelmiyor; kendi yaşam tarzını, dilini ve ekonomisini buraya dikte etmek için geliyor. Bu da bizde ciddi bir aidiyet erozyonu ve kentten kopuş yaratıyor." (K15, Kadın, 42, Yerel Esnaf / Butik İşletmecisi)

4.3. Kentsel Yabancılaşma, Mekânsal Ayrışma ve Soyutlanma, Paralel Yaşam Alanları

Görüşmelerden elde edilen veriler, Avrupalı emeklilerin Alanya'daki fiziksel ve sosyal varlığının yerel halk nezdinde derin bir kentsel yabancılaşma ve mekânsal ayrışma duygusu yarattığını göstermektedir. Kentin tarihsel ve kamusal alanlarının yerel sakinlerin erişiminden kademeli olarak uzaklaşması, yerel kimliğin ve aidiyet hissinin aşınmasına yol açmaktadır. Kentsel mekânın hızla "yabancı odaklı" bir tüketim ağına dönüştürülmesi, yerel halkın kendi yaşadığı kente karşı hissettiği yabancılaşma sürecini belirginleştirmektedir.

Mekânsal ayrışma, yalnızca konut bazlı bir kümelenme ile sınırlı kalmayıp; kentsel altyapının, ticari işletmelerin ve gündelik yaşam alanlarının tamamen turist ve yerleşik yabancı profiline göre yeniden yapılandırılması şeklinde tezahür etmektedir. Mahalle ölçeğinde yaşanan bu dönüşüm, yerel halk ile yerleşik yabancılar arasındaki sosyal etkileşim imkânlarını sınırlamakta, karşılıklı görünmezlik veya kentsel alan paylaşımlarında gerilimli bir soyutlanma doğurmaktadır.

"Eskiden Mahmutlar veya Kargıcak dediğin zaman herkesin birbirini tanıdığı, selam verdiği, portakal bahçelerinin arasında kendi hâlinde yerler gelirdi akla. Şimdi gittiğimde kendimi başka bir ülkede gibi hissediyorum. Tabela Türkçe değil, sokakta konuşulan dil Türkçe değil. Fırına giriyorsun, garson bile önce İngilizce ya da Rusça selam veriyor. Kendi doğup büyüdüğümüz memlekette sığıntı gibi kaldık. Sahilde oturacak bir çay bahçesi bile kalmadı; her

yer onların bütçesine göre düzenlenmiş elit mekânlar oldu. Bizim insanımız kendi sahilinde yürürken bile kendini oraya ait hissetmiyor, yabancılaşıyor." (K8, Erkek, 52, Esnaf)

"Gümüş göç dediğimiz şey Alanya'yı mekânsal olarak ikiye böldü. Bir tarafta kendi gettolarını kurmuş, yerel kültürle hiç temas etmeyen, kendi marketinden alışveriş yapıp kendi kulüplerinde sosyalleşen Avrupalı emekliler; diğer tarafta ise bu alanların dışına itilmiş, kentin merkezine girmekte zorlanan yerel halk var. Bu durum ciddi bir mekânsal ayrışmadır. Yerleşik yabancılar kentin sunduğu imkânlardan faydalanırken, yerel halk kendi yaşam alanlarında ikincil konuma düşmektedir." (K12, Kadın, 41, Akademisyen)

Yerel halkın kentsel mekanla kurduğu bağın zayıflaması, Proshansky'nin (1978, s. 155) "Mekân Kimliği" kavramı çerçevesinde ele alınabilecek bir kentsel yabancılaşma sürecini açığa çıkarmaktadır. Katılımcılar, belirli sahil bölgelerinin, kafelerin ve parkların zamanla Avrupalı emeklilerin "gettosu" haline geldiğini ve kendilerini bu alanlarda rahatsız, dışlanmış hissettiklerini belirtmektedir (Davidson, 2009, s. 226).

"Atatürk Caddesi'nde veya sahilde yürürken kendimi Alanya'da gibi hissetmiyorum. Her yer onların kulüpleri, onların toplandığı mekanlar. Bizim eski oturduğumuz çay bahçeleri bile konsept değiştirdi, fiyatlar uçtu. Artık oralar bizim değil. Kendi şehrimizde izleyici kaldık." (K12, Erkek, 63, Emekli)

Tablo 2: Kentsel Mekânın Dönüşüm ve Mekânsal Yabancılaşma Süreci

Aşama	Dönemsel / Mekânsal Dinamik	Teorik Karşılık	Yerel Algı ve Deneyim
1. Başlangıç (1990-2000'ler)	Turistik ziyaretler, münferit mülk edinimi.	Konuk-Ev Sahibi İlişkisi	"Sempatik turist", ekonomik girdi beklentisi.
2. Yerleşme (2000-2015)	Yoğun mülk alımı, kentsel altyapının göçmene göre şekillenmesi.	Sembolik Tehdit Başlangıcı	Dilsel peyzajın değişmesi, ticari alanların uyarlanması.
3. Aşırı Doygunluk (2015+)	Konut krizleri, soylulaştırma, paralel toplumsal yapı.	Gerçekçi Tehdit ve Mekânsal Yabancılaşma	Barınamaz hale gelme, kentsel aidiyet kaybı, "kendi kentinde yerinden edilme".

4.4. Tema 4: Mekânsal Tehdit Algısı, Yerel Mülksüzleşme ve Beka Kaygısı

Araştırmanın dördüncü temasını, Avrupalı emeklilerin Alanya'daki yoğun gayrimenkul mülkiyeti ve ekonomik üstünlükleri karşısında gelişen mekânsal tehdit algısı ile yerel mülksüzleşme endişeleri oluşturmaktadır. Yüksek döviz alım gücüne sahip yabancı nüfusun konut piyasasına agresif girişi, gayrimenkul ve kira fiyatlarında fahiş artışlara yol açarak yerel nüfusun barınma hakkını ve mülk edinme kapasitesini doğrudan tehdit etmektedir.

Bu süreç, yerel halk nezdinde yalnızca ekonomik bir kriz olarak değil, aynı zamanda kentsel mekânın kontrolünün ve mülkiyetinin yerel unsurların elinden çıkması şeklinde okunmaktadır. Demografik ve ekonomik dengelerin yabancılar lehine değişmesi, yerel sakinlerde derin bir mülksüzleşme hissi yaratmakta; bu durum uzun vadede kentin sosyo-kültürel yapısının silinmesi ve "kendi toprağında yerinden edilme" kaygısı (beka algısı) ile birleşmektedir.

"Kendi çocuklarımıza bu kentte ev kiralayamaz, ev alamaz hâle geldik. Euro ile kazanan adam geliyor, bizim 20 yılda biriktiremeyeceğimiz parayı bir çırpıda topraktan konuta yatırıyor. Bütün siteler, en güzel arsalar onların eline geçti. Yerli halk mülksüzleşiyor, kirasını

ödeyemeyen yerliler iç kesimlere, köylere taşınmak zorunda kalıyor. Bu sadece bir gayrimenkul meselesi değil; kentimizin kontrolü elimizden kayıp gidiyor. Birkaç yıl sonra bu topraklarda biz söz sahibi olamayacağımız diye korkuyoruz." (K4, Erkek, 46, Gayrimenkul Danışmanı)

"Avrupalı emeklilerin buraya yerleşmesi ilk başlarda ekonomik canlılık gibi sunuldu ama geline nokta durum bir mekânsal işgale dönüştü. Mülkiyet yapısı tamamen değişti. İnsanlar babadan kalma arsalarını satıp kısa vadeli para kazandı belki ama uzun vadede Alanya'nın geleceği satılmış oldu. Kendi memleketinde kiracı konumuna düşen, toprağını kaybeden bir yerel halk var artık. Bu durum toplumda ciddi bir öfke ve beka kaygısı yaratıyor; 'Biz kendi kentimizde gelecekte ne olacağız?' sorusu herkesin kafasında." (K15, Erkek, 38, Yerel Yönetim Çalışanı)

5. Tartışma

Elde edilen bulgular, Alanya'da gümüş göçün ulaştığı evrenin, ev sahibi toplum ile ulusötesi sakinler arasında sosyo-psikolojik bir gerilim hattı oluşturduğunu göstermektedir. Şerif'in Gerçekçi Çatışma Kuramı (1966, s. 14) ve Stephan & Stephan'ın Entegre Tehdit Kuramı (2000, ss. 23-28), Alanya'daki yerel halkın tutumlarını açıklamakta güçlü bir teorik zemin sunmaktadır. Yerel sakinler, konut maliyetlerindeki artışı ve yaşam alanlarının daralmasını "fiziksel ve ekonomik varlıklarına yönelik doğrudan bir tehdit" olarak algılamak; kamusal alandaki dilsel ve kültürel değişimi ise "kent kimliğinin kaybı" şeklinde sembolik bir tehdit olarak kodlamaktadır (Stephan vd., 1999, s. 2225).

Ayrıca Proshansky'nin (1978, s. 160) mekân kimliği ve Relph'in (1976, s. 80) yersizleşme (placelessness) yaklaşımları doğrultusunda, yerel halkın kendi gündelik yaşam alanlarında yaşadığı "yerinden edilme hissi" (displacement), fiziksel bir tahliyeden ziyade duygu-durumsal ve simgesel bir dışlanma biçimi olarak karşımıza çıkmaktadır (Marcuse, 1986, s. 162; Davidson, 2009, s. 228).

Allport'un Sosyal Temas Hipotezi (1954, ss. 281-283), uygun koşullar altında (eşit statü, ortak hedefler, gruplararası iş birliği ve kurumsal destek) farklı gruplar arasındaki temasın kalıpyargıları ve önyargıları azaltacağını öngörmektedir. Ancak Alanya örneğinde yerel halk ile Avrupalı emekliler arasındaki temasın büyük ölçüde yüzeysel, ticari ve dolaylı bir nitelik taşıdığı görülmektedir (Balkır & Kırkulak, 2009, s. 112; Oliver, 2008, s. 118).

Gruplar eşit statüde karşılaşmamakta; yerel halk kendisini hizmet sunan, ekonomik olarak dezavantajlı konuma düşen taraf olarak algılamak, gümüş göçmenleri ise yüksek satın alma gücüne sahip "tüketici" olarak konumlandırmaktadır (Casado-Diaz, 2006, s. 1330). Bu durum, temasın önyargıları azaltmak yerine mevcut gruplararası mesafeyi ve "biz-onlar" ayrımını pekiştiren bir işlev görmesine yol açmaktadır (Stephan & Stephan, 2000, s. 32). Dolayısıyla mekânsal yakınlık, kendiliğinden sosyal bütünleşmeyi getirmemekte; aksine yapısal ve sosyo-ekonomik eşitsizliklerle desteklendiğinde "kültürel getolaşma" ve "paralel yaşam alanları" riskini artırmaktadır (Davidson, 2009, s. 230; Marcuse, 1986, s. 165).

6. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışma, Akdeniz çanağında ulusötesi emekli göçünün en belirgin odaklarından biri olan Alanya'da, gümüş göçün yerel toplum nezdindeki sosyo-psikolojik ve mekânsal yansımalarını Fenomenolojik Analiz deseniyle incelemiştir. Elde edilen bulgular, yazındaki hâkim eğilim olan ve gümüş göçü yalnızca ekonomik canlılık, gayrimenkul hareketliliği ve turizm çeşitlenmesi üzerinden "olumlayan" yaklaşımın ötesine geçerek; sürecin ev sahibi toplumda

yarattığı derin kırılmaları, örtük kentsel gerilimleri ve hissettirilen mekânsal yabancılaşmayı ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ana sonucu, Alanya'daki yerel halkın Avrupalı emeklilerin kentteki varlığını iki temel boyutta tehdit olarak kodladığıdır:

Gerçekçi Tehdit (Barınma ve Kaynak Krizi): Küresel döviz gücüne sahip ulusötesi emeklilerin konut piyasasını domine etmesi, yerel sakinlerin barınma gibi en temel kentsel haklarına erişimini kısıtlamış; yerel halkı kentin çeperlerine itilme riskiyle yüz yüze bırakarak ekonomik bir güvensizlik duygusu üretmiştir.

Sembolik Tehdit (Simgesel ve Dilsel Peyzajın Kaybı): Kentsel kamusal alandaki ticari işletmelerin, tabelaların ve gündelik iletişim dillerinin yerel halkın dışarıda kaldığı bir yabancı diller bütününe dönüşmesi, yerel nüfusta kent üzerindeki simgesel hâkimiyetin yitirildiği algısını beslemiştir.

Bu iki tehdit aksının kesişim noktasında ise **"kendi memleketinde yabancılaşma"** ve **"mekânsal yersizleşme"** olgusu şekillenmektedir. Proshansky'nin mekân kimliği yaklaşımı ışığında değerlendirildiğinde; kentsel mekânın dışsal dinamiklerle hızla dönüşmesi, yerel halkın kentle kurduğu anısal ve aidiyete dayalı duygusal bağları koparmaktadır. Yerel sakinler fiziken kentte yaşamaya devam etseler dahi, sosyo-kültürel açıdan alanın dışına itildiklerini ve kentin adeta pasif birer "izleyicisi" haline geldiklerini hissetmektedirler.

Elde edilen sonuçlar Allport'un Temas Hipotezi açısından okunduğunda, mekânsal yakınlığın veya fiziki bir arada bulunmanın kendiliğinden toplumsal entegrasyon üretmediğini açıkça göstermektedir. Tarafların eşit statüde karşılaşmadığı, etkileşimin yüzeysel ve ticari bir eksene hapsoldüğü durumlarda; bir arada yaşam, birleşmeyi değil "paralel yaşam alanlarını" ve gettolaşma riskini beraberinde getirmektedir.

Uygulamaya Yönelik Sosyo-Politik Öneriler: Alanya ve benzeri ulusötesi emekli göçü alan kentlerde mekânsal adalet ile toplumsal barışı sürdürülebilir kılmak adına şu politika ve uygulama adımları hayati önem taşımaktadır:

Mekânsal Hak Eşitliği ve Konut Politikaları: Yerel halkın barınma hakkını koruyacak, bölgesel kira artışlarını denetleyecek ve sosyal konut politikalarını hayata geçirecek yerel/ulusal mevzuat düzenlemeleri acilen kurgulanmalıdır.

Dilsel Peyzaj Düzenlemeleri: Kent merkezindeki ticari tabela, simge ve kamusal bilgilendirmelerde Türkçe kullanımını zorunlu kılan ve kent kimliğini koruyan kapsayıcı standartlar getirilmelidir.

Derinleşmiş Temas Mekanizmaları: Göçmenler ile yerel halkı yalnızca "alıcı-satıcı" ilişkisinde değil; ortak kültür, sanat, sivil toplum ve çevre projelerinde eşit statüde bir araya getirecek kapsayıcı kentsel entegrasyon politikaları geliştirilmelidir.

KAYNAKÇA

Allport, G. W. (1954). *The nature of prejudice*. Addison-Wesley.

Atkinson, R. (2000). The hidden costs of gentrification: Displacement in central London. *Journal of Housing and the Built Environment*, 15(4), 307–326. <https://doi.org/10.1023/A:1010107204934>

Atkinson, R., & Blandy, S. (2005). Introduction: International perspectives on the new enclaves. *Housing Studies*, 20(2), 177–186. <https://doi.org/10.1080/0267303042000331718>

- Balkır, C., & Kırkulak, B. (2009). Turkey as a new destination for international retirement migration: European retirees in Alanya. *Turkish Studies*, 10(1), 97–114. <https://doi.org/10.1080/14683840802648785>
- Benson, M., & O'Reilly, K. (2009). Migration and the search for a better way of life: a critical analysis of lifestyle migration. *Comparative European Politics*, 7(5), 608–625. <https://doi.org/10.1057/cep.2008.46>
- Blumer, H. (1958). Race prejudice as a sense of group position. *Pacific Sociological Review*, 1(1), 3–7. <https://doi.org/10.2307/1388607>
- Bobo, L. (1983). Whites' opposition to busing: Symbolic racism or realistic group conflict? *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(6), 1196–1210. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.45.6.1196>
- Campbell, D. T. (1965). Ethnocentric and other altruistic motives. W. J. Levine (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation* içinde (ss. 283–311). University of Nebraska Press.
- Casado-Diaz, M. A. (2006). Social capital in the sun: Bonding and bridging social capital among British retirees in Spain. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 38(7), 1323–1339. <https://doi.org/10.1068/a37402>
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3. baskı). SAGE Publications.
- Davidson, M. (2009). Displacement, gentrification and space: On the theoretical limits of a spatialized displacement. *Progress in Human Geography*, 33(2), 219–234. <https://doi.org/10.1177/0309132508094079>
- Ekiz, M., & Ekiz, G. (2020). Alanya'da uluslararası emeklilik göçünün konut piyasası ve yerel yaşam üzerindeki etkileri. *Akdeniz İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(2), 118–132.
- Gieryn, T. F. (2000). A space for place in sociology. *Annual Review of Sociology*, 26(1), 463–496. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.26.1.463>
- Gotham, K. F. (2005). Tourism gentrification: The case of New Orleans' Vieux Carre (French Quarter). *Urban Studies*, 42(7), 1099–1121. <https://doi.org/10.1080/00420980500120881>
- Gustafson, P. (2008). Transnational mobility from a life course perspective. *Ageing & Society*, 28(4), 451–472. <https://doi.org/10.1017/S0144686X07006886>
- Harvey, D. (2008). The right to the city. *New Left Review*, 53, 23–40.
- Janoschka, M. (2010). Between mobility and mobilization: Lifestyle migration and the politics of local resistance in Spain. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 36(6), 1013–1031. <https://doi.org/10.1080/13691831003687789>
- Kaiser, B. (2004). Life-style migration to the Turkish Mediterranean: The case of German retirees in Alanya. *Journal of Mediterranean Studies*, 14(1/2), 395–416.
- King, R. (2002). Towards a new map of European migration. *International Journal of Population Geography*, 8(2), 89–106. <https://doi.org/10.1002/ijpg.246>
- King, R., Warnes, A. M., & Williams, A. M. (2000). *Sunset lives: British retirement migration to the Mediterranean*. Berg Publishers.
- Kvale, S. (2007). *Doing interviews*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781849208963>
- Landry, R., & Bourhis, R. Y. (1997). Linguistic landscape and ethnolinguistic vitality: An empirical study. *Journal of Language and Social Psychology*, 16(1), 23–49. <https://doi.org/10.1177/0261927X97161002>
- Lefebvre, H. (1991). *The production of space* (D. Nicholson-Smith, Çev.). Blackwell. (Orijinal yayın tarihi 1974)

- Marcuse, P. (1986). Abandonment, gentrification, and displacement: The linkages in New York City. N. Smith & P. Williams (Ed.), *Gentrification of the city* içinde (ss. 153–177). Allen & Unwin.
- Nudralı, E., & Evren, S. (2016). Yerleşik yabancıların kentsel dokuya ve yerel kültüre etkileri: Alanya örneği. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(3), 45–58.
- Oliver, C. (2008). *Retirement migration to Spain: Identity, community and social change*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203930496>
- Olzak, S. (1992). *The dynamics of ethnic competition and conflict*. Stanford University Press.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4. baskı). SAGE Publications.
- Proshansky, H. M. (1978). The city and self-identity. *Environment and Behavior*, 10(2), 147–169. <https://doi.org/10.1177/0013916578102002>
- Proshansky, H. M., Fabian, A. K., & Kaminoff, R. (1983). Place-identity: Physical world socialization of the self. *Journal of Environmental Psychology*, 3(1), 57–83. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(83\)80021-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(83)80021-8)
- Relph, E. (1976). *Place and placelessness*. Pion.
- Sherif, M. (1966). *In common predicament: Social psychology of intergroup conflict and cooperation*. Houghton Mifflin.
- Smith, J. A., Flowers, P., & Larkin, M. (2009). *Interpretative phenomenological analysis: Theory, method and research*. SAGE Publications.
- Stephan, W. G., & Stephan, C. W. (2000). An integrated threat theory of prejudice. S. Oskamp (Ed.), *Reducing prejudice and discrimination* içinde (ss. 23–45). Lawrence Erlbaum Associates.
- Stephan, W. G., Ybarra, O., & Bachman, G. (1999). Prejudice toward immigrants: An integrated threat theory approach. *Journal of Applied Social Psychology*, 29(11), 2221–2237. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1999.tb00107.x>
- Unutulmaz, K. O. (2014). Akdeniz’de ulusötesi yaşamlar ve yerel karşılaşmalar: Türkiye’de yerleşik Avrupalılar üzerine bir değerlendirme. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 13(4), 885–901.
- van Manen, M. (2016). *Researching lived experience: Human science for an action sensitive pedagogy* (2. baskı). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315421056>
- Warnes, A. M. (2009). International retirement migration in Europe: Dynamics and implications. *Ageing & Society*, 29(1), 43–64.
- Warnes, A. M., Friedrich, K., Kellaher, L., & Torres, S. (2004). The diversity and welfare of older migrants in Europe. *Ageing & Society*, 24(3), 307–326. <https://doi.org/10.1017/S0144686X03001601>
- Williams, A. M., King, R., Warnes, A. M., & Patterson, G. (2000). Tourism and international retirement migration: New forms of an old relationship in southern Europe. *Tourism Geographies*, 2(1), 28–49. <https://doi.org/10.1080/146166800363439>

**MERKEZİ KOMPOZİT TASARIM KULLANILARAK KARA DUT
YAPRAKLARINDAN ULTRASONİK BANYO İLE BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN
EKSTRAKSİYONUNUN OPTİMİZASYONU**

Kamala ASGOROVA

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-1923-4582

Dr. Öğr. Üyesi İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Ultrasonik destekli ekstraksiyon, bitkisel materyallerden biyoaktif bileşiklerin geri kazanımında yüksek verim, düşük çözücü tüketimi ve kısa işlem süresi sağlaması nedeniyle sürdürülebilir ekstraksiyon teknikleri arasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, kara dut (*Morus nigra*) yapraklarından biyoaktif bileşiklerin ultrasonik banyo ekstraksiyonu ile elde edilme koşulları Merkezi Kompozit Tasarım (CCD) kullanılarak optimize edilmiştir. Yanıt Yüzey Metodolojisi kapsamında yürütülen çalışmada katı madde miktarı (0,2-0,5 g), etanol konsantrasyonu (%20-80, v/v) ve ekstraksiyon süresi (30-60 dk) bağımsız değişkenler olarak seçilmiş, toplam fenolik madde miktarı (TPC), DPPH ve ABTS radikal giderme aktiviteleri yanıt değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen kuadratik modeller tüm yanıtlar için istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($p < 0,0001$) ve yüksek belirleme katsayıları elde edilmiştir (TPC için $R^2=0,9909$, DPPH için $R^2=0,9843$ ve ABTS için $R^2=0,9900$). Sayısal optimizasyon sonucunda optimum ekstraksiyon koşulları 0,2 g katı madde, %60,47 etanol konsantrasyonu ve 58,37 dk ekstraksiyon süresi olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, ultrasonik banyo ekstraksiyonunun kara dut yapraklarından fenolik bileşikler ve antioksidanların etkin geri kazanımı için umut verici bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Kara dut (*Morus nigra*) atığı, sonikasyon, Merkezi Kompozit Tasarım, biyoaktif bileşikler, antioksidan aktivite.

**CENTRAL COMPOSITE DESIGN-BASED OPTIMIZATION OF ULTRASONIC
BATH EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM BLACK MULBERRY
LEAVES**

ABSTRACT

Ultrasonic-assisted extraction has been known to be one of the sustainable extraction techniques for the recovery of bioactive compounds from plant materials due to its high yield, low solvent consumption and short processing time. In this study, the conditions for obtaining bioactive compounds from black mulberry (*Morus nigra*) leaves by ultrasonic bath extraction were optimized using Central Composite Design (CCD). Solid matter content (0.2-0.5 g), ethanol concentration (20-80%, v/v) and extraction time (30-60 min) were selected as independent

variables, while total phenolic content (TPC), DPPH, and ABTS radical scavenging activities were evaluated as response variables. The developed quadratic models were found to be statistically significant for all responses ($p < 0.0001$) and high coefficients of determination were obtained ($R^2 = 0.9909$ for TPC, $R^2 = 0.9843$ for DPPH, and $R^2 = 0.9900$ for ABTS). Numerical optimization produced optimum extraction conditions of 0.2 g solid matter, 60.47% ethanol concentration and 58.37 min extraction time. These findings demonstrate that ultrasonic bath extraction is a promising method for the efficient recovery of phenolic compounds and antioxidants from black mulberry leaves.

Keywords: Black mulberry (*Morus nigra*) waste, sonication, Central Composite Design, bioactive compounds, antioxidant activity.

1. INTRODUCTION

Recently, interest in environmentally friendly extraction technologies for obtaining bioactive compounds from natural resources has increased significantly [1]. Since traditional extraction methods have disadvantages such as long processing times, high solvent consumption, and energy requirements, the development of more efficient and sustainable techniques has become crucial [2]. In this context, ultrasonic-assisted extraction is widely used in the recovery of phenolic compounds from plant materials due to its advantages such as short processing time, low solvent consumption and high extraction yield [3].

Plant leaves constitute an abundant source of phenolic compounds with considerable antioxidant potential and have attracted increasing attention as sustainable raw materials for the development of functional ingredients [4]. As a natural source, black mulberry (*Morus nigra*) leaves have been reported to contain a wide range of bioactive phytochemicals such as phenolic materials contributing to their biological activities [5–8]. However, the bioactive component content of the obtained extracts is significantly affected by process parameters such as solvent concentration, solid matter content, and extraction time. Therefore, the recovery of bioactive compounds from black mulberry leaves via ultrasonic bath extraction was optimized using Central Composite Design (CCD) in the current study. The effects of solid content, solvent (ethanol) concentration and extraction time on total phenolic content (TPC), DPPH and ABTS radical scavenging activities were investigated. Finally, optimum extraction conditions were determined through multiple response optimization with CCD.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Plant Material

In this study, dried black mulberry (*Morus nigra*) leaves were used as raw material. Leaf samples were ground until they reached a fine particle size. Then, the samples were stored in a way that protected them from moisture and light before extraction processes.

2.2. Ultrasonic Bath Extraction

Extraction of bioactive compounds was performed using an ultrasonic bath system (Weightlab Instruments, Türkiye). In ultrasonic extraction, the diffusion of the solvent into the plant matrix is accelerated thanks to the acoustic cavitation effect. The diffusion of target compounds into the solvent is facilitated by the breakdown of cell walls [9]. The process parameters affecting extraction efficiency were selected as solid matter amount (0.2-0.5 g), ethanol concentration (20-80%, v/v) and extraction time (30-60 min) based on the result of preliminary experiments.

2.3. Central Composite-Based Experimental Design

A three-factor Central Composite Design (CCD) was applied within the scope of Response Surface Methodology (RSM) in optimizing extraction conditions. Experimental design, statistical analyses and optimization procedures were performed using Design-Expert software (Version 13.0.5.0, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA). A total of 20 experiments were conducted, where independent variables were defined as solid content (A), solvent concentration (B) and extraction time (C). Response variables were selected as TPC, DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity.

The experimental data were fitted to the following second-degree polynomial model (Eq.1):

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Here, Y represents the predicted response, β_0 the constant term, β_i the linear coefficients, β_{ii} the quadratic coefficients, β_{ij} the interaction coefficients, and X_i and X_j the coded values of the independent variables.

2.4. Bioactivity Analysis

The phenolic content of the obtained extracts was determined using the Folin-Ciocalteu colorimetric method [10]. The absorbance of the blue complex formed at the end of the reaction was measured at 765 nm. The total phenolic content was calculated using the gallic acid standard curve. Results are expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of dry matter (mg-GAE/g-DM).

The free radical scavenging capacity of the extracts was evaluated using DPPH and ABTS methods. In the DPPH analysis, absorbance was recorded at 517 nm. Regarding ABTS analysis, the absorbance was read at 734 nm [11]. The antioxidant capacities were calculated using Trolox as the reference standard, and expressed as milligrams of Trolox equivalent antioxidant capacity per gram of dry matter (mg-TEAC/g-DM).

2.5. Data Analysis and Modeling

Experimental results were analyzed using the CCD-RSM approach. Linear, quadratic and binary interaction effects of independent variables were evaluated with the help of second-order polynomial models. Model fit was examined by analysis of variance (ANOVA), coefficient of determination (R^2), adjusted R^2 , estimated R^2 and lack of fit test. In the final stage, a desirability function was applied to optimize all responses together.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Model adequacy and statistical evaluation

The experimental responses based on CCD-RSM are given in Table 1. The TPC, DPPH and ABTS values varied under different extraction conditions.

Table 1. Process parameters and experimental results for TPC, DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity, respectively*.

Run	Solid mass (g)	Solvent concentration (% v/v)	Extraction time (min)	TPC (mg-GAE/g-DM)	DPPH (mg-TEAC/g-DM)	ABTS (mg-TEAC/g-DM)
1	0.35	50	30	7.97± 0.003	15.95± 0.002	10.62± 0.002
2	0.35	80	45	6.44± 0.005	15.69± 0.002	6.40± 0.005
3	0.5	80	30	3.00± 0.003	7.57± 0.005	2.31± 0.004
4	0.2	80	60	15.31± 0.001	29.07± 0.005	11.31± 0.004
5	0.5	20	30	9.05± 0.003	12.63± 0.003	8.98± 0.005
6	0.35	50	45	10.72± 0.003	15.02± 0.001	10.44± 0.003
7	0.2	80	30	17.51± 0.002	25.26± 0.003	10.52± 0.002
8	0.2	50	45	17.33± 0.002	28.95± 0.004	12.82± 0.003
9	0.5	20	60	19.53± 0.001	11.27± 0.003	11.68± 0.002
10	0.35	50	45	11.33± 0.004	16.14± 0.002	10.93± 0.003
11	0.2	20	30	4.89± 0.003	26.37± 0.004	13.01± 0.001
12	0.35	20	45	9.36± 0.003	14.81± 0.005	10.88± 0.001
13	0.35	50	45	10.55± 0.005	16.68± 0.005	10.89± 0.003
14	0.35	50	45	10.55± 0.002	15.36± 0.005	10.21± 0.001
15	0.5	80	60	1.53± 0.002	10.34± 0.003	7.33± 0.003
16	0.35	50	45	9.94± 0.001	16.37± 0.002	10.32± 0.003
17	0.2	20	60	13.40± 0.003	22.10± 0.003	13.59± 0.005
18	0.35	50	45	9.80± 0.002	16.43± 0.002	10.44± 0.003
19	0.35	50	60	12.73± 0.002	16.12± 0.002	13.52± 0.004
20	0.5	50	45	11.17± 0.003	12.07± 0.004	7.91± 0.004

Abbreviations: DM, dried matter; GAE, gallic acid equivalents; TPC, total phenolic content; TEAC, Trolox equivalent antioxidant capacity; DPPH, DPPH radical scavenging activity (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl); ABTS, ABTS radical scavenging activity (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)).

* Data are given as the mean ($n = 3$) $\pm$ standard deviation.

Table 2. Quadratic model equations for TPC, DPPH and ABTS in terms of coded factors.

Response	Model Equation
$Y_{\text{TPC}} =$	$10.63 - 2.42 A - 1.24 B + 2.01 C - 4.82 AB + 0.3363 AC - 2.83 BC + 3.40 A^2 - 2.95 B^2 - 0.5005 C^2$
$Y_{\text{DPPH}} =$	$16.25 - 7.79 A + 0.0765 B + 0.1118 C - 1.48 AB + 0.2346 AC + 1.53 BC + 3.88 A^2 - 1.37 B^2 - 0.5904 C^2$
$Y_{\text{ABTS}} =$	$10.56 - 2.30 A - 2.03 B + 1.20 C - 0.7820 AB + 0.7944 AC + 0.3152 BC - 0.2298 A^2 - 1.96 B^2 + 1.47 C^2$

The quadratic models developed for TPC, DPPH, and ABTS (Table 2) were statistically significant ($p < 0.0001$) with R^2 of 0.9909, 0.9843 and 0.9900, respectively (Table 3). In addition, the non-significant lack of fit values ($p > 0.05$) indicated that the developed models adequately represented the experimental data [12].

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) for the quadratic models of TPC, ABTS, and DPPH.

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
TPC	Model	406.38	9	45.15	120.45	< 0.0001	significant
	A-Solid mass	58.40	1	58.40	155.79	< 0.0001	
	B-Solvent concentration	15.50	1	15.50	41.34	< 0.0001	
	C-Immersion time	40.29	1	40.29	107.46	< 0.0001	
	AB	185.97	1	185.97	496.08	< 0.0001	
	AC	0.9048	1	0.9048	2.41	0.1513	
	BC	64.22	1	64.22	171.31	< 0.0001	
	A ²	31.88	1	31.88	85.05	< 0.0001	
	B ²	23.92	1	23.92	63.81	< 0.0001	
	C ²	0.6888	1	0.6888	1.84	0.2051	
	Residual	3.75	10	0.3749			
	Lack of Fit	2.20	5	0.4402	1.42	0.3544	not significant
	Pure Error	1.55	5	0.3096			
	Cor Total	410.13	19				
C.V.: 5.77%		$R^2=0.9909$	Adjusted $R^2=0.9826$		Predicted $R^2=0.9500$		
DPPH	Model	688.72	9	76.52	112.30	< 0.0001	significant
	A-Solid mass	606.24	1	606.24	889.66	< 0.0001	
	B-Solvent concentration	0.0585	1	0.0585	0.0858	0.7756	
	C-Immersion time	0.1250	1	0.1250	0.1835	0.6775	
	AB	17.54	1	17.54	25.74	0.0005	
	AC	0.4402	1	0.4402	0.6460	0.4402	
	BC	18.65	1	18.65	27.38	0.0004	
	A ²	41.45	1	41.45	60.83	< 0.0001	
	B ²	5.17	1	5.17	7.58	0.0203	
	C ²	0.9587	1	0.9587	1.41	0.2630	
	Residual	6.81	10	0.6814			
	Lack of Fit	4.65	5	0.9307	2.15	0.2099	not significant
	Pure Error	2.16	5	0.4322			
	Cor Total	695.54	19				
C.V.: 4.13%		$R^2=0.9843$	Adjusted $R^2=0.9641$		Predicted $R^2=0.8457$		
ABTS	Model	132.90	9	14.77	109.64	< 0.0001	significant

A-Solid mass	53.06	1	53.06	393.91	< 0.0001	
B-Solvent concentration	41.10	1	41.10	305.14	< 0.0001	
C-Extraction time	14.39	1	14.39	106.81	< 0.0001	
AB	4.89	1	4.89	36.32	0.0001	
AC	5.05	1	5.05	37.48	0.0001	
BC	0.7948	1	0.7948	5.90	0.0355	
A ²	0.1452	1	0.1452	1.08	0.3237	
B ²	10.52	1	10.52	78.13	< 0.0001	
C ²	5.98	1	5.98	44.37	< 0.0001	
Residual	1.35	10	0.1347			
Lack of Fit	0.8950	5	0.1790	1.98	0.2356	not significant
Pure Error	0.4519	5	0.0904			
Cor Total	134.25	19				
C.V.: 3.60%		$R^2=0.9900$		Adjusted $R^2=0.9809$		Predicted $R^2=0.8788$

3.2. Influence of Extraction Variables

The ANOVA results (Table 3) revealed that solid mass was the most influential factor affecting all response variables. Solvent concentration and extraction time also significantly affected TPC and ABTS, whereas their linear effects on DPPH were not statistically significant. Significant interaction effects such as the one between solid mass and solvent concentration (AB) show that the extraction efficiency depended on the combined influence of process parameters rather than on individual variables alone. Furthermore, the significant quadratic terms confirmed the existence of optimum operating conditions within the investigated experimental region.

3.3. Response Surface Analysis

Figures 1-3 demonstrate the interactive effects of extraction parameters on TPC, DPPH and ABTS responses.

Factor Coding: Actual

TPC (mg-GAE/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

1.52857 19.5286

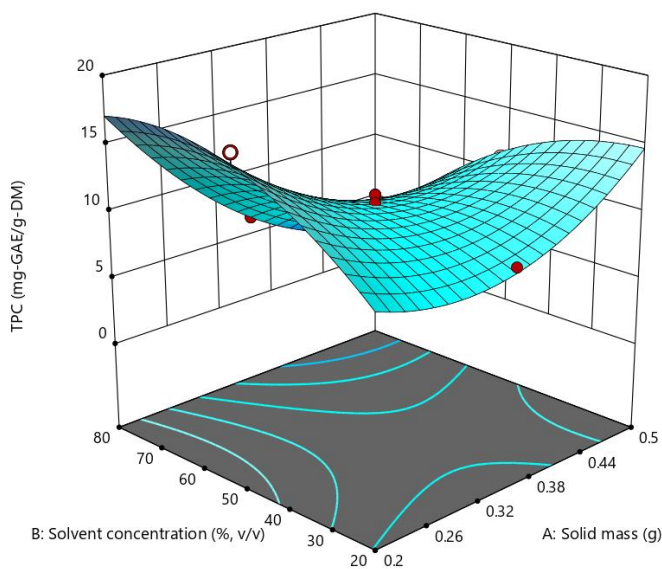
X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 45

3D Surface



(a)

Factor Coding: Actual

DPPH (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

7.57284 29.071

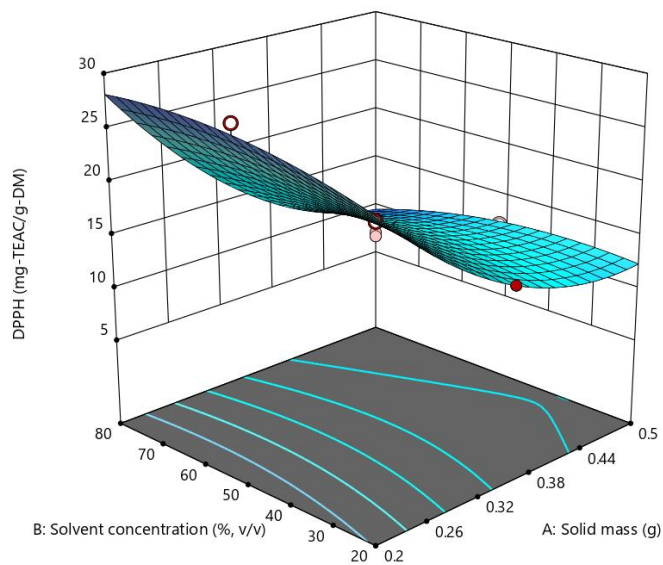
X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 45

3D Surface



(b)

Factor Coding: Actual

3D Surface

ABTS (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

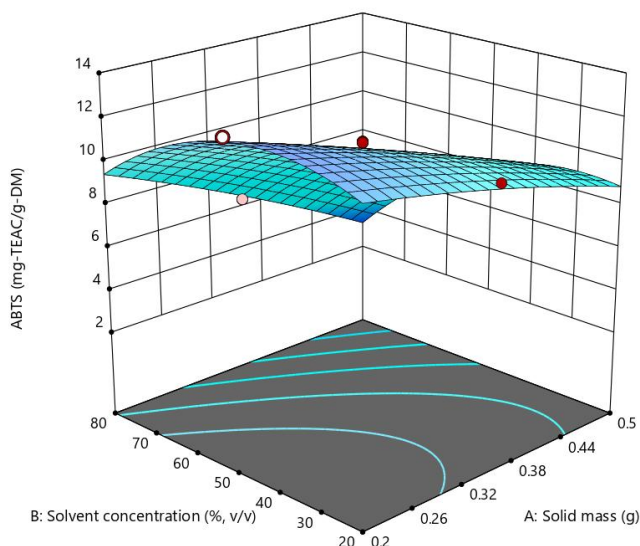
2.30741 13.5926

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 45



(c)

Figure 1. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of solid mass (A) and solvent concentration (B) on (a) total phenolic content (TPC), (b) DPPH radical scavenging activity, and (c) ABTS radical scavenging activity at a fixed extraction time of 45 min (C = 45 min).

Figure 1 illustrates the interaction between solid mass and solvent concentration during ultrasonic bath extraction. The curved response surfaces demonstrate that the extraction efficiency was affected by the combined influence of both variables rather than by their individual effects alone. Generally, moderate operating conditions provided more favorable responses than the extreme experimental levels. This finding also supports the optimization results obtained from the quadratic models.

Additionally, Figure 2 shows the interaction between solid mass and extraction time during ultrasonic bath extraction. The response surfaces demonstrate that both variables contributed to the extraction performance, where their combined effects varied within the experimental region.

Factor Coding: Actual

3D Surface

TPC (mg-GAE/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

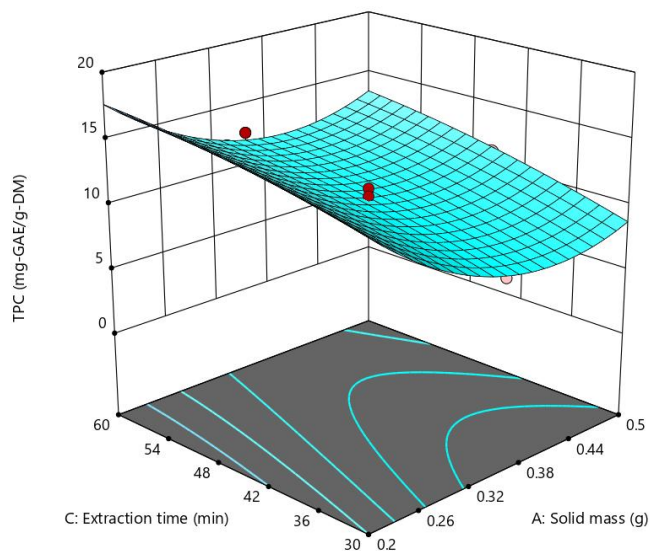
1.52857 19.5286

X1 = A

X2 = C

Actual Factor

B = 50



(a)

Factor Coding: Actual

3D Surface

DPPH (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

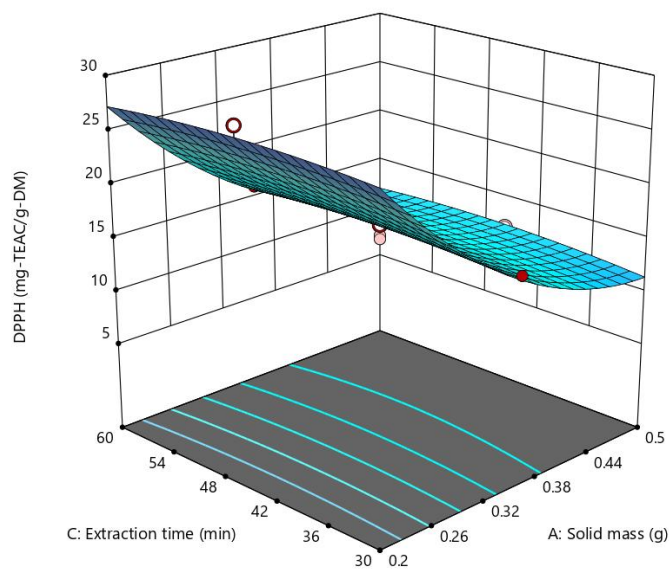
7.57284 29.071

X1 = A

X2 = C

Actual Factor

B = 50



(b)

Factor Coding: Actual

3D Surface

ABTS (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

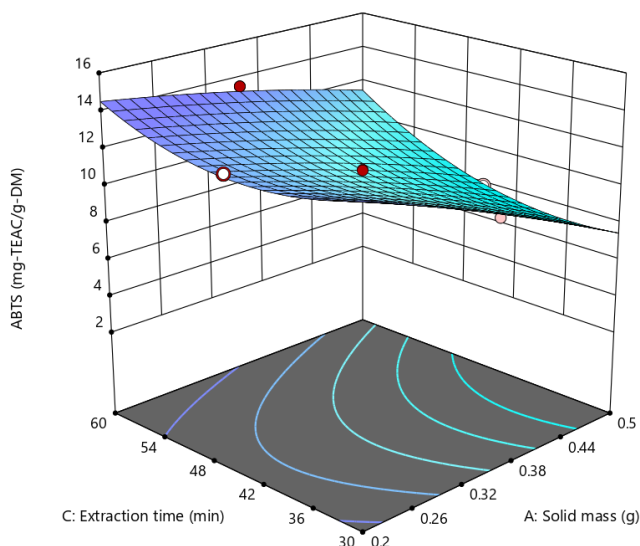
2.30741 13.5926

X1 = A

X2 = C

Actual Factor

B = 50



(c)

Figure 2. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of solid mass (A) and extraction time (C) on (a) total phenolic content (TPC), (b) ABTS radical scavenging activity, and (c) DPPH radical scavenging activity at a fixed solvent concentration of 50% (B = 50%).

Figure 3 presents the response surface plots describing the interaction between solvent concentration and extraction time at a fixed solid mass of 0.35 g. The response surfaces indicate that both variables contributed to the extraction performance and influenced the recovery of phenolic compounds and antioxidant activity. The results suggest that moderate solvent concentration combined with longer extraction times provided more favorable responses than the extreme experimental conditions.

Factor Coding: Actual

TPC (mg-GAE/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

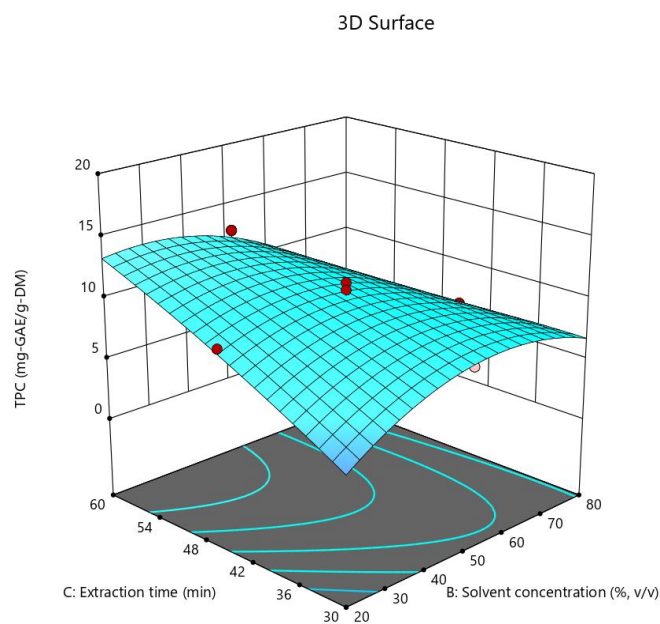
1.52857 19.5286

X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 0.35



(a)

Factor Coding: Actual

DPPH (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

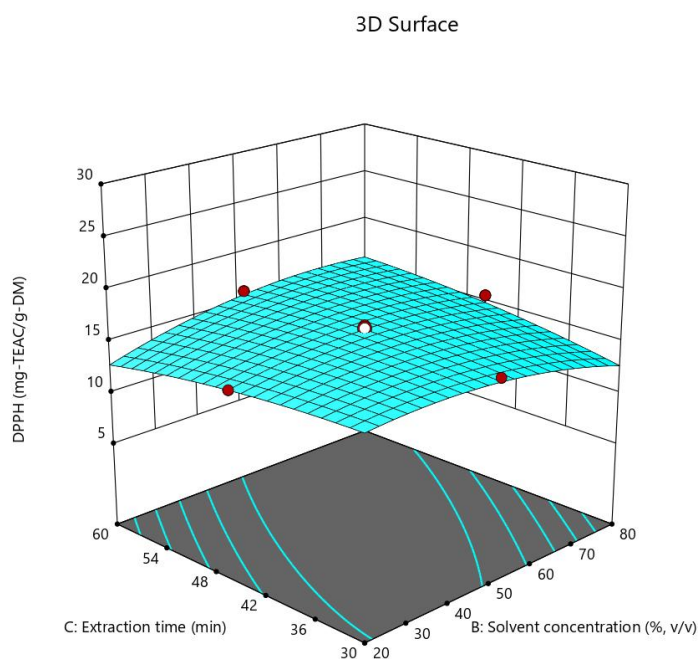
7.57284 29.071

X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 0.35



(b)

Factor Coding: Actual

3D Surface

ABTS (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

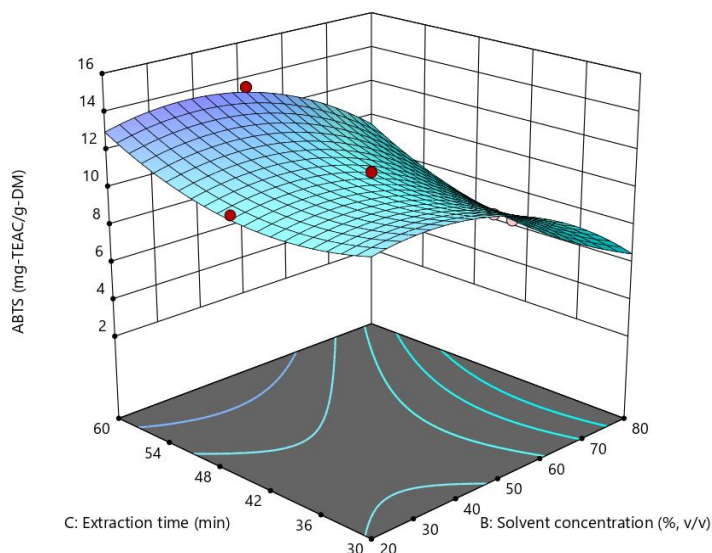
2.30741 13.5926

X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 0.35



(c)

Figure 3. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of solvent concentration (B) and extraction time (C) on (a) total phenolic content (TPC), (b) DPPH radical scavenging activity, and (c) ABTS radical scavenging activity at a fixed solid mass (A = 0.35 g).

3.3. Optimization and Validation Study

The optimization results obtained by the desirability function are summarized in Table 4 and visualized by the ramp plot in Figure 4. The optimum extraction conditions consisted of 0.2 g solid mass, 60.47% solvent concentration and 58.37 min extraction time, providing a desirability of 0.949. In Figure 4, red dots represent the optimum factor settings, whereas blue dots indicate the predicted response values corresponding to the optimized conditions.

Table 4. Optimization and validation results.

Parameter	Value	Response	Experimental value	Fitted value	Desirability	Error (%)
A: Solid mass (g)	0.2	TPC (mg-GAE/g-DM)	17.358	17.550	0.949	1.11
B: Solvent concentration (% v/v)	60.47	DPPH (mg-TEAC /g-DM)	27.994	28.191		0.70
C: Extraction time (min)	58.37	ABTS (mg-TEAC/g-DM)	13.357	13.593		1.77

The experimental values obtained under the optimized conditions were in good agreement with the model predictions (error<2%).

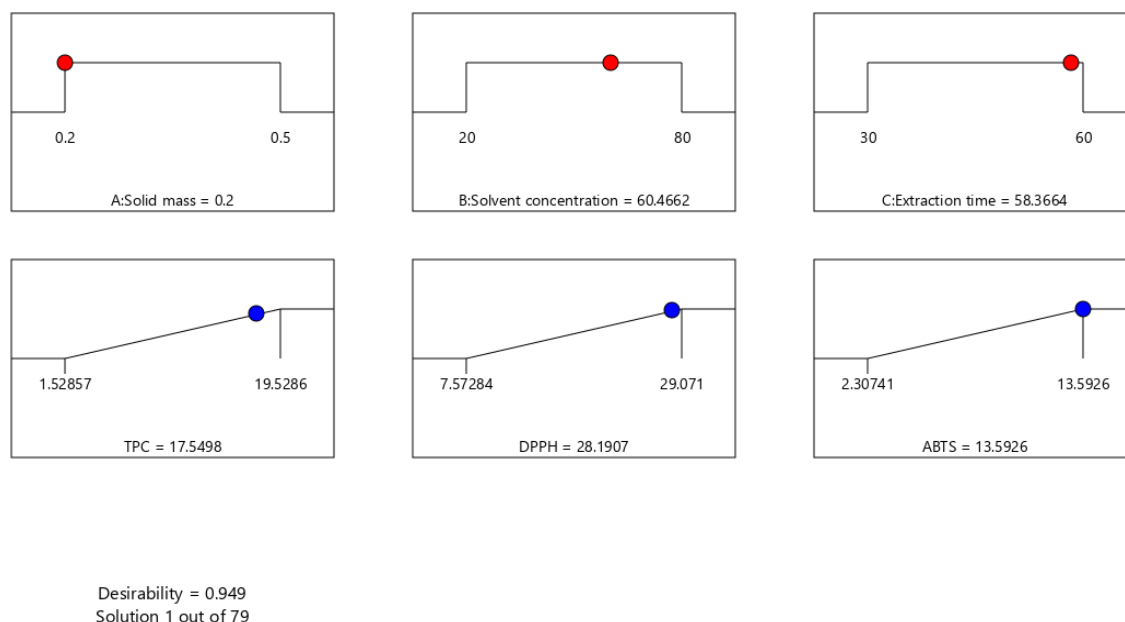


Figure 4. Ramp plot illustrating the optimum extraction conditions obtained by numerical optimization.

4. Conclusions

The present study demonstrated that ultrasonic bath extraction combined with Central Composite Design provides an efficient strategy for maximizing the recovery of phenolic compounds and antioxidant activity from *Morus nigra* leaves. The developed response surface models predicted the experimental responses successfully. The optimum extraction conditions were identified with high desirability. The optimized ultrasound-assisted process offers a simple, economical and environmentally friendly alternative for obtaining phenolic-rich extracts from black mulberry leaves.

References

1. Usman, M.; Nakagawa, M.; Cheng, S. Emerging Trends in Green Extraction Techniques for Bioactive Natural Products. *Processes* **2023**, *Vol. 11*, **2023**, *11*, doi:10.3390/PR11123444.
2. Bozkurt, R.N.; Kurtulbaş, E.; Toprakçı, İ.; Şahin, S. Sustainable Extraction of Bioactive Compounds: Engineering Principles and Technologies. *ChemBioEng Reviews* **2026**, *13*, e70062, doi:10.1002/CBEN.70062;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:21969744;ISSUE:ISSUE:DOI.

3. Bin Mokaizh, A.A.; Nour, A.H.; Kerboua, K. Ultrasonic-Assisted Extraction to Enhance the Recovery of Bioactive Phenolic Compounds from Commiphora Gileadensis Leaves. *Ultrason. Sonochem.* **2024**, *105*, 106852, doi:10.1016/J.ULTSONCH.2024.106852.
4. Regolo, L.; Giampieri, F.; Battino, M.; Armas Diaz, Y.; Mezzetti, B.; Elexpuru-Zabaleta, M.; Mazas, C.; Tutusaus, K.; Mazzoni, L. From By-Products to New Application Opportunities: The Enhancement of the Leaves Deriving from the Fruit Plants for New Potential Healthy Products. *Front. Nutr.* **2024**, *11*, 1083759, doi:10.3389/FNUT.2024.1083759/FULL.
5. Sánchez-Salcedo, E.M.; Tassotti, M.; Del Rio, D.; Hernández, F.; Martínez, J.J.; Mena, P. (Poly)Phenolic Fingerprint and Chemometric Analysis of White (*Morus Alba* L.) and Black (*Morus Nigra* L.) Mulberry Leaves by Using a Non-Targeted UHPLC–MS Approach. *Food Chem.* **2016**, *212*, 250–255, doi:10.1016/J.FOODCHEM.2016.05.121.
6. Nastić, N.; Borrás-Linares, I.; Lozano-Sánchez, J.; Švarc-Gajić, J.; Segura-Carretero, A. Optimization of the Extraction of Phytochemicals from Black Mulberry (*Morus Nigra* L.) Leaves. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* **2018**, *68*, 282–292, doi:10.1016/J.JIEC.2018.07.055.
7. Polumackanycz, M.; Wesolowski, M.; Viapiana, A. *Morus Alba* L. and *Morus Nigra* L. Leaves as a Promising Food Source of Phenolic Compounds with Antioxidant Activity. *Plant Foods for Human Nutrition* **2021**, *76*, 458–465, doi:10.1007/S11130-021-00922-7.
8. Ozturk, M.; Kamili, A.N.; Altay, V.; Rohela, G.K. Phytochemical Constituents, Pharmacological Activities, and Human Health. *Mulberry* **2024**, 111–147, doi:10.1007/978-3-031-49117-7_7.
9. Kürkçü, Ş.; Toprakçı, İ.; Şahin, S. Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Components from Solid Wastes of Pomegranate Juice Industry Using Deep Eutectic Solvents: A Sustainable Approach for Enhancing Antioxidant Properties in Cosmetic Formulations. *Chemistry Africa* **2025**, *8*, 2317–2331, doi:10.1007/S42250-025-01316-X.
10. A Malik, N.S.; Bradford, J.M. *Recovery and Stability of Oleuropein and Other Phenolic Compounds during Extraction and Processing of Olive (Olea Europaea L.) Leaves* WFL Publisher Science and Technology; 2005; Vol. 6;.
11. Şahin, S. A Novel Technology for Extraction of Phenolic Antioxidants from Mandarin (*Citrus Deliciosa* Tenore) Leaves: Solvent-Free Microwave Extraction. *Korean Journal of Chemical Engineering* **2015**, *32*, 950–957, doi:10.1007/S11814-014-0293-Y/METRICS.
12. Chanioti, S.; Tzia, C. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Oil from Olive Pomace Using Response Surface Technology: Oil Recovery, Unsaponifiable Matter, Total Phenol Content and Antioxidant Activity. *LWT - Food Science and Technology* **2017**, *79*, 178–189, doi:10.1016/J.LWT.2017.01.029.

ÇOKLU YANIT OPTİMİZASYONU İLE KARA DUT (*MORUS NIGRA*) YAPRAKLARINDAN FENOLİK VE ANTİOKSİDAN BİLEŞENLERİN ETKİN EKSTRAKSİYONU

Kamala ASGOROVA

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-1923-4582

Dr. Öğr. Üyesi İrem TOPRAKÇI YÜKSEL

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0001-9870-8514

Prof. Dr. Selin ŞAHİN SEVGİLİ

Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Chemical
Engineering, 34320 Avcılar, İstanbul

ORCID ID: 0000-0002-9989-9823

ÖZET

Kara dut (*Morus nigra*) yaprakları, fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite açısından zengin bir doğal kaynaktır ve fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamaları için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, otomatik çözücü ekstraksiyonu (ASE) kullanılarak kara dut yapraklarından biyolojik olarak aktif maddelerin ekstraksiyon koşullarını optimize etmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla, ekstraksiyon sisteminin optimizasyonunda Yanıt Yüzey Metodolojisi ile Box-Behnken deneysel tasarımı (BBD-RSM) kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler katı miktarı (0,3-1 g), daldırma süresi (15-35 dk) ve çözücü konsantrasyonu (%20-80, v/v) olarak belirlenmiştir. Toplam fenolik içerik (TPC), DPPH ve ABTS radikal süpürme aktiviteleri yanıt değişkenleri olarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen kuadratik modellerin TPC, DPPH ve ABTS' ye verilen tüm yanıtlar için istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p < 0,0001$). Modellerin belirleme katsayıları sırasıyla TPC için $R^2=0,9937$, DPPH için $R^2=0,9843$ ve ABTS için $R^2=0,9904$ olarak bulunmuştur. Bulgular, kara dut yapraklarının doğal bir antioksidan kaynağı olarak değerlendirilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Biyolojik atık, hidroetanolik ekstraksiyon, antioksidan kapasite, proses optimizasyonu.

EFFECTIVE EXTRACTION OF PHENOLIC AND ANTIOXIDANT COMPONENTS FROM BLACK MULBERRY (*MORUS NIGRA*) LEAVES THROUGH MULTIPLE RESPONSE OPTIMIZATION

ABSTRACT

Black mulberry (*Morus nigra*) leaves are a rich natural source of phenolic compounds and antioxidant capacity, possessing significant potential for functional food and nutraceutical applications. This study aimed to optimize the extraction conditions of biologically active substances from black mulberry leaves using automated solvent extraction (ASE). For this purpose, Box-Behnken experimental design of Response Surface Methodology (BBD-RSM) was used in the extraction optimization. Independent variables were determined as solid mass (0.3-1 g), immersion time (15-35 min), and solvent concentration (20-80%, v/v). Total phenolic

content (TPC), DPPH, and ABTS radical scavenging activities were evaluated as response variables. The developed quadratic models were found to be statistically significant for all responses to TPC, DPPH and ABTS ($p < 0.0001$). The coefficients of determination of the models were $R^2 = 0.9937$ for TPC, $R^2 = 0.9843$ for DPPH, and $R^2 = 0.9904$ for ABTS, respectively. The findings indicate that black mulberry leaves have the potential to be evaluated as a natural antioxidant source.

Keywords: Biowaste, hydroethanolic extraction, antioxidant capacity, process optimization.

1. INTRODUCTION

Bioactive compounds in biomass/biowaste have been reported to play a significant role in preventing oxidative damage caused by free radicals [1]. So, they can contribute to the prevention of chronic diseases such as cardiovascular diseases, diabetes, neurodegenerative diseases, and some types of cancer [2]. Therefore, research aimed at obtaining high-yield extracts from plant materials rich in phenolic compounds has accelerated in recent years [3]. Although numerous studies exist on black mulberry (*Morus nigra*) fruits [4,5], its leaves also stand out as an important natural resource for phytochemicals [6]. Various studies have shown that *Morus nigra* leaves possess antioxidant properties [6–8]. However, the extraction yield of these bioactive components can be affected by several factors such as solvent concentration, solid/liquid ratio and extraction time as well as the extraction technique. Therefore, systematic optimization of extraction conditions is necessary to maximize the recovery of target compounds.

In this study, phenolic components were extracted from *Morus nigra* leaves using automated solvent extraction (ASE). The effects of solid content, extraction time and solvent concentration on total phenolic content (TPC), DPPH and ABTS radical scavenging activities were investigated within the framework of a Box-Behnken experimental design of Response Surface Method (BBD-RSM). Furthermore, optimum extraction conditions providing high phenolic content and antioxidant activity were determined by applying multiple response optimization.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

Black mulberry leaves were used as the plant material in this study. The leaves were dried, ground into powder and stored under appropriate conditions prior to extraction.

2.2. Automatic Solvent Extraction

An automatic solvent extraction system (Velp SER 158, Velp Scientifica, Usmate, Italy) was used. Table 1 summarizes the extraction conditions. The selected experimental ranges were established based on preliminary experiments.

Table 1. Process parameters, units, symbol, and coded levels.

Process Parameter	Units	Symbol	Coded levels		
			−1	0	1
Solid mass	g	A	0.3	0.65	1
Immersion time	min	B	15	25	35
Solvent concentration	%, v/v	C	20	50	80

2.3. Experimental Design

The extraction process was optimized using a three-factor and three-level BBD-RSM. Design-Expert software (Version 13.0.5.0, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) was used for experimental design, statistical analysis and optimization. A total of 17 experimental runs with five center-point replicates were performed to evaluate the effects of the independent variables on the response variables. The independent variables were solid mass (A), immersion time (B) and solvent concentration (C), while the response variables were TPC, DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity.

2.4. Determination of Total Phenolic Content

The total phenolic content of the extracts was determined using the Folin-Ciocalteu colorimetric method [9]. Absorbance measurements were performed at 765 nm using a UV-Vis spectrophotometer (PG Instruments, T60/Leicestershire, England). The results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of dry matter (mg-GAE/g-DM).

2.5. Determination of Antioxidant Activity

The antioxidant activity of the extracts was evaluated using DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS [2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] radical scavenging assays [10]. Absorbance values were recorded at 517 nm for DPPH and 734 nm for ABTS. The antioxidant capacities were calculated using Trolox as the reference standard and expressed as milligrams of Trolox equivalent antioxidant capacity per gram of dry matter (mg-TEAC/g-DM).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Experimental Results and Model Fitting

Table 2 presents the experimental data for the recovery of the bioactives from black mulberry leaves based on the BBD-RSM. The TPC values ranged from 20.35 to 60.31 mg-GAE/g-DM, while DPPH radical scavenging activity varied between 18.86 and 39.83 mg-TEAC/g-DM. Additionally, ABTS radical scavenging activity ranged from 6.04 to 32.68 mg-TEAC/g-DM. On the other hand, the regression equations (Table 3) demonstrated that both the individual process variables and their interaction effects contributed to the extraction performance.

The adequacy of the quadratic models was evaluated by analysis of variance (ANOVA) as presented in Table 4. The regression models for TPC, DPPH, and ABTS were statistically significant ($p < 0.0001$). The model developed for TPC exhibited an excellent coefficient of determination ($R^2 = 0.9937$), suggesting that approximately 99% of the experimental variability could be explained by the selected extraction parameters [11]. The models for DPPH ($R^2 = 0.9843$) and ABTS ($R^2 = 0.9904$) also showed high predictive performance. Additionally, high adjusted and predicted R^2 values as well as the low coefficients of variation (C.V.) (less than 10%) also supported the developed models (Table 4). Furthermore, the non-significant lack of fit tests ($p > 0.05$) shows that there is no systematic deviation between the experimental and predicted values [12].

Table 2. Process parameters and experimental results for TPC, DPPH radical scavenging activity and ABTS radical scavenging activity, respectively*.

c	Solid mass (g)	Immersion time (min)	Solvent concentration (% v/v)	TPC** (mg-GAE/g-DM)	DPPH (mg-TEAC/g-DM)	ABTS (mg-TEAC/g-DM)
1	0.65	25	50	51.00± 0.003	29.98± 0.001	27.94± 0.002
2	1	35	50	49.61± 0.004	21.01± 0.004	20.27± 0.004
3	0.65	25	50	54.81± 0.003	29.58± 0.002	29.76± 0.002
4	1	25	80	60.31± 0.002	19.51± 0.004	21.36± 0.002
5	0.65	25	50	53.70± 0.002	29.64± 0.004	28.47± 0.001
6	0.65	15	20	20.35± 0.001	32.19± 0.003	19.01± 0.003
7	0.3	25	80	21.49± 0.004	27.85± 0.003	13.10± 0.004
8	1	25	20	23.66± 0.005	18.86± 0.005	12.71± 0.003
9	0.65	25	50	51.59± 0.005	27.82± 0.001	28.87± 0.003
10	0.65	35	80	36.64± 0.003	27.23± 0.002	6.04± 0.001
11	1	15	50	37.23± 0.002	18.89± 0.002	21.44± 0.004
12	0.3	15	50	32.66± 0.002	39.83± 0.005	32.68± 0.001
13	0.3	25	20	34.31± 0.004	35.09± 0.003	30.22± 0.005
14	0.65	25	50	52.23± 0.001	30.33± 0.001	27.77± 0.004
15	0.65	15	80	32.48± 0.003	22.12± 0.001	15.34± 0.001
16	0.65	35	20	29.84± 0.003	22.79± 0.004	16.76± 0.001
17	0.3	35	50	30.50± 0.005	28.44± 0.002	18.43± 0.003

* Data are given as the mean (n = 3) ± standard deviation.

Abbreviations: DM, dried matter; GAE, gallic acid equivalents; TPC, total phenolic content; TEAC, Trolox equivalent antioxidant capacity; DPPH, DPPH radical scavenging activity (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl); ABTS, ABTS radical scavenging activity (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)).

Table 3. Quadratic model equations for TPC, DPPH and ABTS in terms of coded factors.

Response	Model Equation	
$Y_{\text{TPC}} =$	$52.67 + 6.48 A + 2.98 B + 5.34 C + 3.63 AB + 12.37 AC - 1.33 BC - 5.03 A^2 - 10.14 B^2 - 12.70 C^2$	(1)
$Y_{\text{DPPH}} =$	$29.47 - 6.62 A - 1.70 B - 1.53 C + 3.38 AB + 1.97 AC + 3.63 BC - 1.59 A^2 - 0.8363 B^2 - 2.55 C^2$	(2)
$Y_{\text{ABTS}} =$	$28.56 - 2.33 A - 3.37 B - 2.86 C + 3.27 AB + 6.44 AC - 1.76 BC - 0.1489 A^2 - 5.21 B^2 - 9.07 C^2$	(3)

ANOVA test also shows that solid mass (A), immersion time (B) and solvent concentration (C) all exerted significant positive linear effects on TPC ($p < 0.01$) as seen in Table 4. In addition, the interaction between solid mass and solvent concentration (AC) was highly significant ($p < 0.0001$). The significant negative quadratic coefficients of A^2 , B^2 and C^2 indicated that excessive increases in these variables resulted in reduced phenolic recovery.

Table 4. ANOVA for the quadratic models of TPC, ABTS, and DPPH.

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
TPC	Model	2647.46	9	294.16	122.63	< 0.0001	significant
	A-Solid mass	336.09	1	336.09	140.11	< 0.0001	
	B-Immersion time	71.27	1	71.27	29.71	0.0010	
	C-Solvent concentration	228.47	1	228.47	95.24	< 0.0001	
	AB	52.85	1	52.85	22.03	0.0022	
	AC	611.89	1	611.89	255.08	< 0.0001	
	BC	7.11	1	7.11	2.96	0.1288	
	A ²	106.34	1	106.34	44.33	0.0003	
	B ²	432.97	1	432.97	180.49	< 0.0001	
	C ²	678.70	1	678.70	282.93	< 0.0001	
	Residual	16.79	7	2.40			
	Lack of Fit	7.01	3	2.34	0.9544	0.4950	not significant
	Pure Error	9.79	4	2.45			
	Cor Total	2664.25	16				
C.V.: 3.92%		R ² =0.9937	Adjusted R ² =0.9856		Predicted R ² =0.9522		
DPPH	Model	550.46	9	61.16	48.74	< 0.0001	significant
	A-Solid mass	350.15	1	350.15	279.01	< 0.0001	
	B-Immersion time	23.04	1	23.04	18.36	0.0036	
	C-Solvent concentration	18.69	1	18.69	14.89	0.0062	
	AB	45.59	1	45.59	36.33	0.0005	
	AC	15.58	1	15.58	12.42	0.0097	
	BC	52.64	1	52.64	41.95	0.0003	
	A ²	10.66	1	10.66	8.50	0.0225	
	B ²	2.94	1	2.94	2.35	0.1694	
	C ²	27.38	1	27.38	21.81	0.0023	
	Residual	8.78	7	1.25			
	Lack of Fit	5.03	3	1.68	1.78	0.2893	not significant
	Pure Error	3.76	4	0.9394			
	Cor Total	559.25	16				
C.V.: 4.13%		R ² =0.9843	Adjusted R ² =0.9641		Predicted R ² =0.8457		
ABTS	Model	907.31	9	100.81	80.26	< 0.0001	significant
	A-Solid mass	43.44	1	43.44	34.58	0.0006	
	B-Immersion time	90.91	1	90.91	72.38	< 0.0001	
	C-Solvent concentration	65.22	1	65.22	51.92	0.0002	
	AB	42.84	1	42.84	34.10	0.0006	
	AC	166.04	1	166.04	132.18	< 0.0001	
	BC	12.43	1	12.43	9.89	0.0163	
	A ²	0.0933	1	0.0933	0.0743	0.7930	
	B ²	114.15	1	114.15	90.88	< 0.0001	
	C ²	346.27	1	346.27	275.67	< 0.0001	
	Residual	8.79	7	1.26			
	Lack of Fit	6.24	3	2.08	3.26	0.1419	not significant
	Pure Error	2.55	4	0.6385			
	Cor Total	916.11	16				
C.V.: 5.15%		R ² =0.9904	Adjusted R ² =0.9781		Predicted R ² =0.8867		

For DPPH activity, solid mass was identified as the most influential factor ($p < 0.0001$), followed by immersion time and solvent concentration. Furthermore, all interaction terms (AB, AC and BC) significantly influenced the response. This means that antioxidant capacity was governed by complex interactions among the extraction variables. On the other hand, the ABTS model similarly demonstrated significant effects of immersion time, solvent concentration and their interactions. The interaction between solid mass and solvent concentration (AC) exhibited the highest F-value among the interaction terms. The insignificant quadratic effect of solid mass (A^2) suggested that ABTS activity was primarily influenced by interaction effects rather than curvature associated with solid mass.

3.2. Response Surface Analysis

The three-dimensional (3D) response surface plots (Figures 1-3) show the combined effects of extraction parameters on the response variables.

As seen in Figure 1a, TPC increased with increasing solid mass and immersion time up to approximately the center levels (0.65 g and 25 min). After this point, a slight decline was observed. The dome-shaped response surface indicates significant quadratic effects of both variables, suggesting that excessive solid loading or prolonged extraction reduced phenolic recovery. This observation is consistent with the significant negative quadratic coefficients (A^2 and B^2) obtained from the regression model (Table 3).

Factor Coding: Actual

TPC (mg-GAE/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

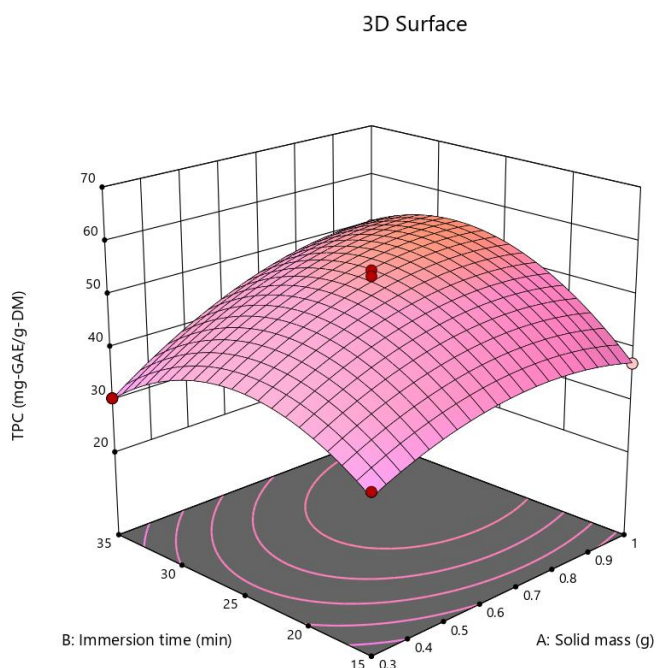
20.3487 60.3124

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 50



(a)

Factor Coding: Actual

DPPH (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

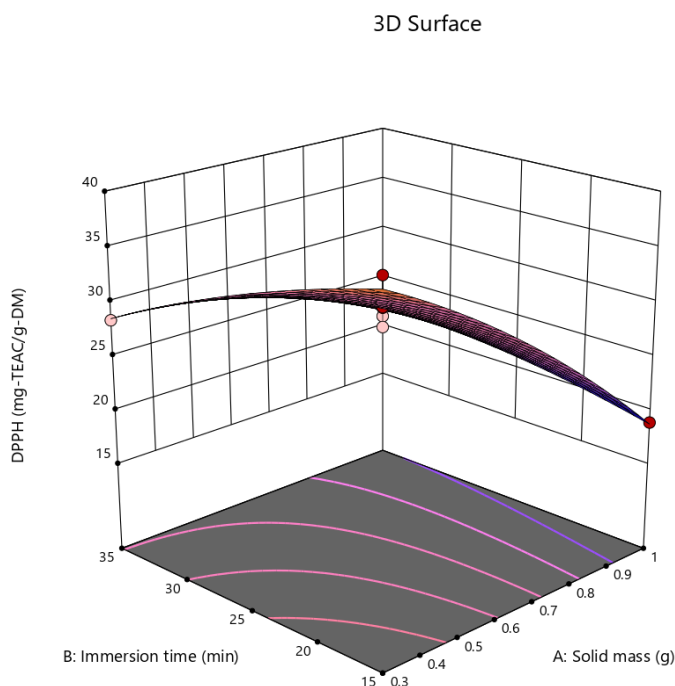
18.8622 39.8288

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 50



(b)

Factor Coding: Actual

ABTS (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

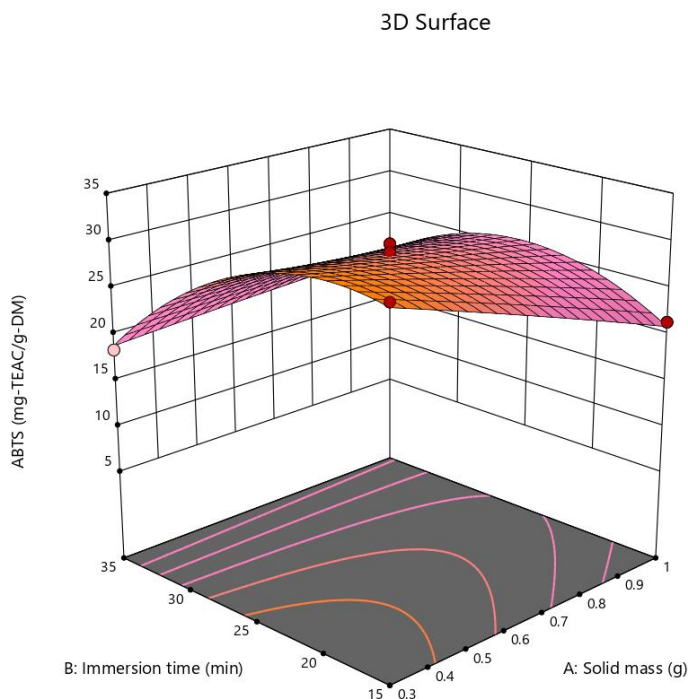
6.04444 32.6848

X1 = A

X2 = B

Actual Factor

C = 50



(c)

Figure 1. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of solid mass (A) and immersion time (B) on (a) total phenolic content (TPC), (b) DPPH radical scavenging

activity, and **(c)** ABTS radical scavenging activity at a fixed solvent concentration of 50% ($C = 50\%$).

DPPH radical scavenging activity exhibited an opposite trend with respect to solid mass as seen in Figure 1b. Higher antioxidant activity was observed at lower solid mass and moderate immersion time, whereas increasing solid mass resulted in a marked decrease in DPPH values. This finding agrees with the negative linear coefficient of solid mass (A) in the regression model as given in Table 3. So, we can conclude that excessive sample loading adversely affected the extraction of antioxidant compounds responsible for DPPH scavenging activity. Figure 1c shows that ABTS radical scavenging activity increased as solid mass increased from low to intermediate levels and reached its maximum at approximately 25 min of immersion time. The curved response surface suggests that optimum extraction conditions are required to maximize antioxidant activity rather than simply increasing extraction time or sample amount.

Figure 2 shows the effect of solid mass (A) and solvent concentration (C) at a fixed immersion time (25 min). As seen in Figure 2a, TPC increased with increasing solid mass and solvent concentration up to intermediate levels, reaching its maximum around 0.65 g solid mass and 50-60% solvent concentration. After these levels, TPC gradually decreased, which means that there are significant quadratic effects of both variables. The sharp curvature of the response surface backs up the significant AC interaction and negative quadratic terms of the regression model (Table 3). As observed in Figure 2b, DPPH radical scavenging activity was higher at lower solid mass and intermediate-to-high solvent concentrations. Increasing solid mass resulted in a gradual reduction in DPPH activity, whereas moderate solvent concentrations favored antioxidant extraction. These findings indicate that both variables influence the recovery of antioxidant compounds. ABTS activity increased with increasing solvent concentration until approximately the intermediate level and then slightly declined (Figure 2c). Similarly, moderate solid mass promoted higher ABTS values compared with the extreme levels. The curved response surface confirms the significant interaction between solid mass and solvent concentration.

Factor Coding: Actual

TPC (mg-GAE/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

20.3487 60.3124

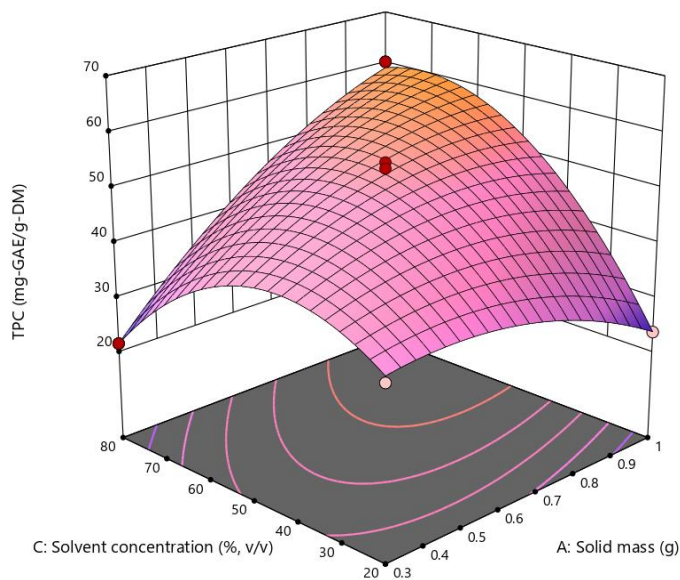
X1 = A

X2 = C

Actual Factor

B = 25

3D Surface



(a)

Factor Coding: Actual

DPPH (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

18.8622 39.8288

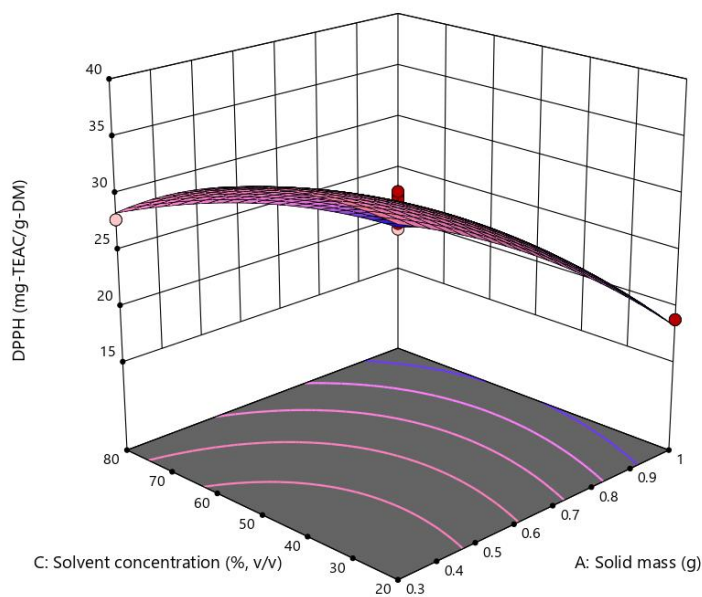
X1 = A

X2 = C

Actual Factor

B = 25

3D Surface



(b)

Factor Coding: Actual

ABTS (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

6.04444 32.6848

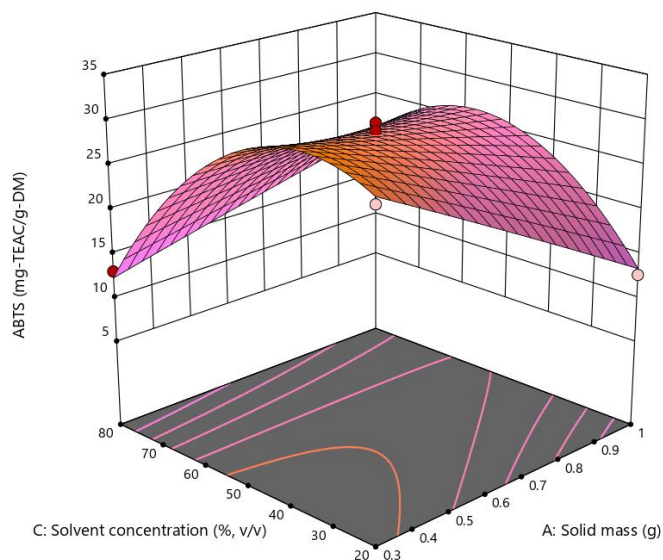
X1 = A

X2 = C

Actual Factor

B = 25

3D Surface



(c)

Figure 2. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of solid mass (A) and solvent concentration (C) on (a) total phenolic content (TPC), (b) ABTS radical scavenging activity, and (c) DPPH radical scavenging activity at a fixed immersion time of 25 min (B = 25 min).

Figure 3 illustrates the combined effects of immersion time and solvent concentration on TPC, DPPH, and ABTS at a fixed solid mass of 0.65 g.

Factor Coding: Actual

TPC (mg-GAE/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

20.3487 60.3124

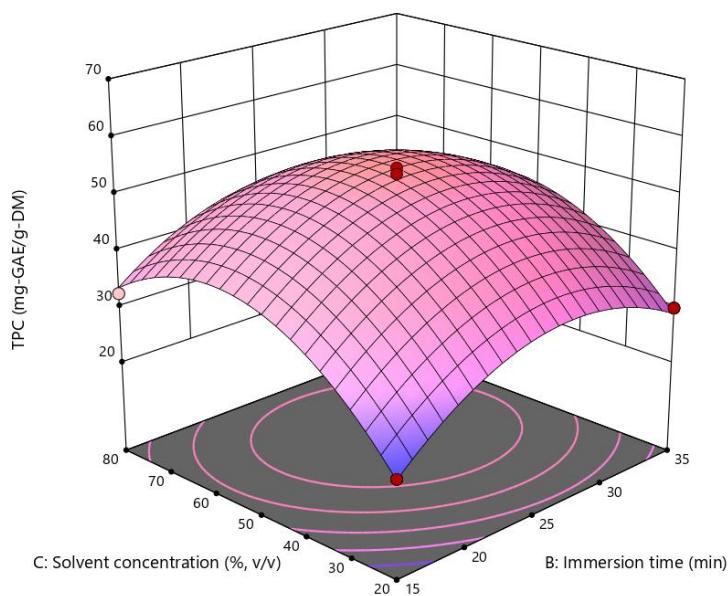
X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 0.65

3D Surface



(a)

Factor Coding: Actual

DPPH (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

18.8622 39.8288

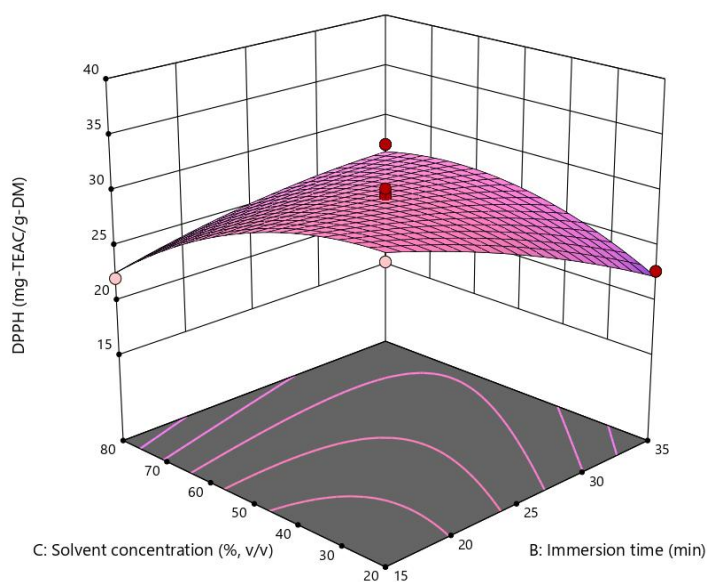
X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 0.65

3D Surface



(b)

Factor Coding: Actual

3D Surface

ABTS (mg-TEAC/g-DM)

Design Points:

● Above Surface

○ Below Surface

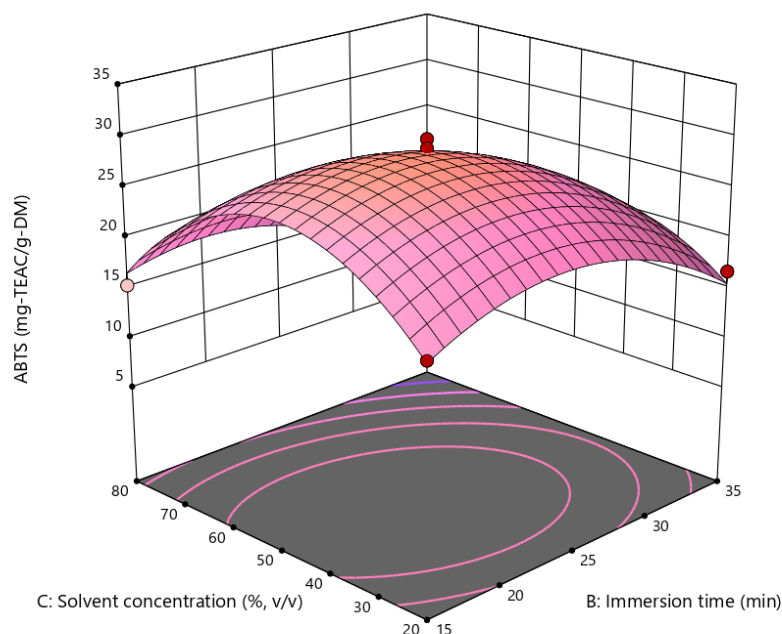
6.04444 32.6848

X1 = B

X2 = C

Actual Factor

A = 0.65



(c)

Figure 3. Three-dimensional response surface plots showing the combined effects of immersion time (B) and solvent concentration (C) on (a) total phenolic content (TPC), (b) DPPH radical scavenging activity, and (c) ABTS radical scavenging activity at a fixed solid mass (A = 0.65 g).

3.3. Numerical Optimization and Model Validation

Numerical optimization based on the desirability function predicted optimum extraction conditions of 0.397 g solid mass, 21.945 min immersion time and 41.507% solvent concentration. Under these optimized conditions, the predicted responses were 44.182 mg GAE/g DM for TPC, 35.553 mg TEAC/g DM for DPPH, and 32.685 mg TEAC/g DM for ABTS. Validation experiments performed under the optimized conditions yielded experimental values of 43.981 mg GAE/g DM, 35.583 mg TEAC/g DM, and 32.995 mg TEAC/g DM for TPC, DPPH, and ABTS, respectively. The prediction errors were below 1% for all responses, confirming the high predictive accuracy of the developed RSM models.

4. Conclusions

In this study, the extraction conditions for recovering phenolic compounds and antioxidant constituents from *Morus nigra* leaves were optimized using Response Surface Methodology coupled with Box-Behnken design. The developed quadratic models accurately predicted the extraction responses as confirmed by their high coefficients of determination and validation experiments with prediction errors below 1%. The optimum extraction conditions (0.397 g solid

mass, 21.945 min immersion time and 41.507% solvent concentration) provided a desirable balance between total phenolic content and antioxidant activity. These findings demonstrate that automated solvent extraction combined with multiple-response optimization is an effective approach for obtaining phenolic-rich extracts from *Morus nigra* leaves.

References

1. Muscolo, A.; Mariateresa, O.; Giulio, T.; Mariateresa, R. Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases. *International Journal of Molecular Sciences* 2024, Vol. 25, Page 3264 **2024**, 25, 3264, doi:10.3390/IJMS25063264.
2. Shahidi, F.; Yeo, J.D. Bioactivities of Phenolics by Focusing on Suppression of Chronic Diseases: A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 2018, Vol. 19, Page 1573 **2018**, 19, 1573, doi:10.3390/IJMS19061573.
3. Travis, C.R.; McMaster, J.; Rivas, F. Advances in Natural Product Extraction: Established and Emerging Technologies. *Molecules* 2026, Vol. 31, Page 1136 **2026**, 31, 1136, doi:10.3390/MOLECULES31071136.
4. Skrovankova, S.; Ercisli, S.; Ozkan, G.; Ilhan, G.; Sagbas, H.I.; Karatas, N.; Jurikova, T.; Mlcek, J. Diversity of Phytochemical and Antioxidant Characteristics of Black Mulberry (*Morus Nigra* L.) Fruits from Turkey. *Antioxidants* **2022**, 11, 1339, doi:10.3390/ANTIOX11071339/S1.
5. Sakar, E.; Ercisli, S.; Marc, R.A.; Gulen, H.; Assouguem, A.; Ullah, R.; Shahat, A.A.; Bari, A.; Farah, A. Black Mulberry (*Morus Nigra* L.) Fruits: As a Medicinal Plant Rich in Human Health-Promoting Compounds. *Open Chemistry* **2023**, 21, doi:10.1515/CHEM-2022-0323/XML.
6. Abay, M.; Eruygur, N. Investigation of Antioxidant Activities of Fruit, Leaf, and Branche Extracts of White (*Morus Alba* L.) and Black (*Morus Nigra* L.) Mulberry Species from Diyarbakır. *Turkish Journal of Agricultural Research* **2021**, 8, 177–183, doi:10.19159/TUTAD.841557.
7. Zhou, P.; Wang, X.; Liu, P.; Huang, J.; Wang, C.; Pan, M.; Kuang, Z. Enhanced Phenolic Compounds Extraction from *Morus Alba* L. Leaves by Deep Eutectic Solvents Combined with Ultrasonic-Assisted Extraction. *Industrial Crops and Products* **2018**, 120, 147–154, doi:10.1016/J.INDCROP.2018.04.071.
8. Algan Cavuldak, Ö.; Vural, N.; Akay, M.A.; Anlı, R.E. Optimization of Ultrasound-Assisted Water Extraction Conditions for the Extraction of Phenolic Compounds from Black Mulberry Leaves (*Morus Nigra* L.). *Journal of Food Process Engineering* **2019**, 42, e13132, doi:10.1111/JFPE.13132.
9. A Malik, N.S.; Bradford, J.M. *Recovery and Stability of Oleuropein and Other Phenolic Compounds during Extraction and Processing of Olive (*Olea Europaea* L.) Leaves* WFL Publisher Science and Technology; 2005; Vol. 6;.
10. Şahin, S. A Novel Technology for Extraction of Phenolic Antioxidants from Mandarin (*Citrus Deliciosa* Tenore) Leaves: Solvent-Free Microwave Extraction. *Korean Journal of Chemical Engineering* **2015**, 32, 950–957, doi:10.1007/S11814-014-0293-Y/METRICS.
11. Gatkal, N.R.; Nalawade, S.M.; Shelke, M.S.; Sahni, R.K.; Bhanage, G.B.; More, N.M.; Walunj, A.A.; Kadam, P.B.; Singh, S.P. A Comprehensive Study on Operational Parameters

Optimization of Quadcopter Unmanned Aerial Vehicle-Based Spraying System in Sugarcane. *Sugar Tech* 2025 28:2 **2025**, 28, 445–466, doi:10.1007/S12355-025-01586-2.

12. Mohammed, N.; Ahmed, F.; Mewada, H.; Rathod, R.G.; Sonawane, S.K. Experimental and Machine Learning Optimization of Centrifugal Pump Performance. *Flow Measurement and Instrumentation* **2026**, 107, 103048, doi:10.1016/J.FLOWMEASINST.2025.103048.

THERMODYNAMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ALTERNATIVE FUELS IN A TURBOFAN ENGINE

Dr. Emine OĞUR

Adıyaman University, 02230, Altınşehir, Adıyaman, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-8020-9477

Dr. Emrullah KOCAMAN

Gaziantep University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 27000

Gaziantep, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-2303-8322

Assoc Prof. Dr. Hüseyin YAĞLI

Gaziantep University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 27000

Gaziantep, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-9777-0698

ABSTRACT

As the aviation industry faces increasing pressure to reduce emissions and transition to more sustainable fuel options, understanding the impact of alternative fuels on turbofan engine performance and environmental effects has become increasingly important. Using a thermodynamic engine model, the effects of kerosene, H_2 , and NH_3 on turbofan engine performance and emissions were investigated. All three fuels were evaluated under the same operating conditions at selected altitude levels. The calculated thrust was 361.54 kN at takeoff, decreasing to 81.37 kN during cruising. The specific fuel consumption (SFC) values for kerosene, H_2 , and NH_3 at takeoff were 38.38, 14.11, and 85.60 kg/(kN·h), respectively, while the corresponding values during cruising were 34.36, 12.66, and 77.26 kg/(kN·h). These differences follow directly from the heating values of the fuels, since NH_3 requires a considerably higher mass flow rate than kerosene, whereas H_2 requires far less. At takeoff, energy efficiency increased by 4.06% with NH_3 use compared to kerosene use, while it decreased by 1.78% with H_2 use. Furthermore, the use of H_2 and NH_3 directly reduced CO_2 emissions to near zero. Overall, these findings demonstrate that H_2 and NH_3 have the potential to be significant alternatives to conventional kerosene, particularly in terms of reducing the environmental impact of turbofan engines.

Keywords: Turbofan engine; Alternative aviation fuels; Hydrogen; Ammonia; Thermodynamic analysis; Specific fuel consumption; CO_2 emissions

1. INTRODUCTION

High-bypass-ratio turbofan engines are widely used in both civil and military aviation due to their ability to produce high thrust with relatively low fuel consumption. After the air enters the engine, the fan separates it into two streams. Most of the air passes through the bypass duct around the engine core, while the rest enters the core, where it is compressed, burned with fuel, and expanded through the turbines. This configuration allows the engine to achieve high thrust while keeping fuel consumption at a relatively low level, which is particularly beneficial for commercial aircraft. However, further improvements in turbofan engine performance are becoming more difficult as higher thrust requirements continue to increase. At the same time, reducing the environmental impact of conventional kerosene-based aviation fuels has become an important issue due to the growing need to lower emissions from the aviation sector.

In this regard, improving engine performance is only part of the challenge, as the environmental effects of the fuel itself also need to be considered. Therefore, this study compares the performance of a high-bypass-ratio turbofan engine operating with conventional kerosene, hydrogen, and ammonia. The effects of these fuels on the engine's thermodynamic performance and environmental characteristics are examined under different operating conditions. Particular attention is given to the ability of hydrogen and ammonia to maintain engine performance while reducing the environmental impact associated with conventional aviation fuels.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The turbofan engine used in this study is a two-shaft, high-bypass-ratio engine representative of those used in commercial aircraft. It includes a fan, low- and high-pressure compressors, an annular combustion chamber, and high- and low-pressure turbines. The general layout of the engine and its main components is illustrated in Figure 1.

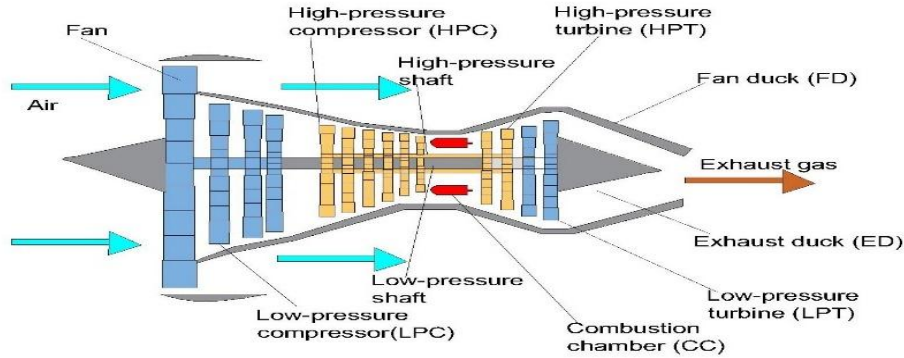


Figure 1. Simplified version of the turbofan engine.

3. PARAMETRIC EQUATIONS FOR AN TURBOFAN ENGINE

The mathematical formulation used to evaluate the turbofan engine performance is presented in this section. The model includes key performance indicators such as specific fuel consumption, thrust efficiency, thermal efficiency, exergy efficiency, and carbon emissions. The corresponding governing equations are given below.

Thrust of an turbofan engine (Akdeniz et al. 2023; Korba et al. 2023; Oğur et al. 2025c)

$$ET = [\dot{m}_{FD} * (V_{FD} - V_0)] + [(\dot{m}_{ED}) * (V_{ED} - V_0)] + [A_{FD} * (P_{FD} - P_0)] + [A_{ED} * (P_{ED} - P_0)] \quad (1)$$

Thrust efficiency of turbofan engine (Balli et al. 2018; Oğur et al. 2025a; Coşkun et al. 2026)

$$\eta_{TH} = \frac{\dot{W}_p + E_{in}}{\dot{Q}_{in}}$$

(2)

Thermal efficiency of turbofan engine (Yuksel et al. 2020; Akdeniz and Balli 2022; Aygun et al. 2024; Oğur et al. 2025d)

$$\eta_{ET} = \frac{\dot{W}_p}{\dot{Q}_{in}}$$

(3)

$$\dot{Q}_{in} = (\dot{m}_{out,gas}) * C_{p_{out,gas}} * T_{out,gas} - (\dot{m}_{in,air}) * C_{p_{in,air}} * T_{in,air}$$

(4)

$$\dot{W}_p = ET * V_{Fan}$$

(5)

Specific fuel consumption rates (Aygün et al. 2024; Oğur et al. 2025b)

$$SFC = \frac{\dot{m}_{fuel}}{ET}$$

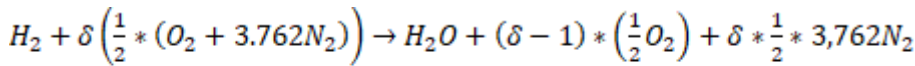
(6)

Exergy efficiency of turbofan engine (Dincer and Rosen 2015; da Silva and Amini 2023)

$$\varepsilon_{\dot{E}x,eng} = \frac{\dot{E}x_{out}}{\dot{E}x_{in}}$$

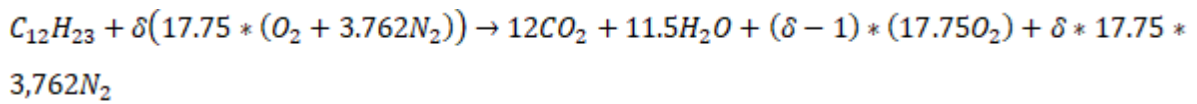
(7)

Hydrogen Combustion Stoichiometry (Cengel and Boles 2010; Oğur et al. 2025c)



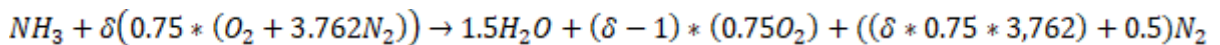
(8)

Kerosene Combustion Stoichiometry (Cengel and Boles 2010; Oğur et al. 2025b)



(9)

Ammonia Combustion Stoichiometry (Cengel and Boles 2010; Oğur et al. 2024)



(10)

Carbon emission amount (Caliskan 2015; Kanbur et al. 2018; Oğur et al. 2024)

$$XCO_2 = YCO_2 * \dot{m}_{fuel}$$

(11)

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The turbofan engine was evaluated with different fuels to compare their effects on engine performance. All simulations were performed under the same operating conditions, and the same thrust level was maintained for each fuel. This made it possible to compare the fuel-related differences in engine performance more directly. The calculated specific fuel consumption (SFC) values for the three fuels are presented in Figure 2.

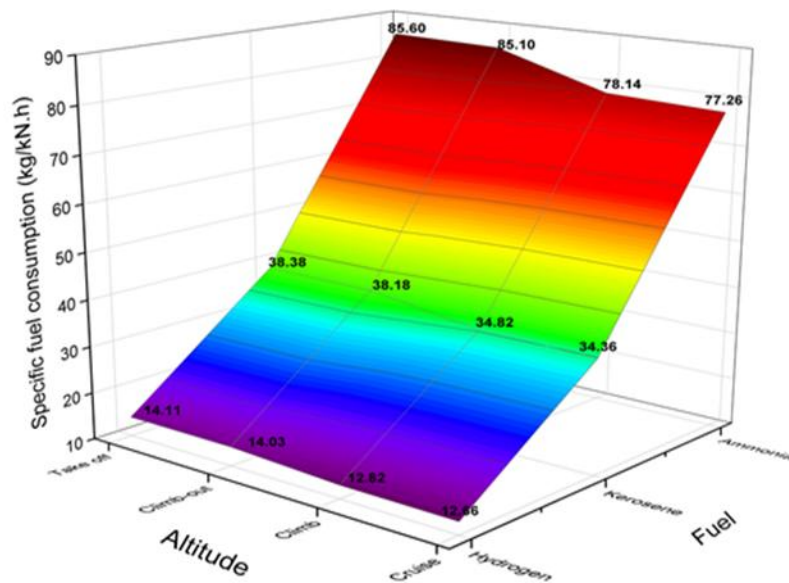


Figure 2. SFC consumption values of the turbofan engine for the different fuels

The calculated thrust values of the turbofan engine were 361.54 kN at take-off, 324.06 kN during climb-out, 93.76 kN during climb, and 81.37 kN during cruise. As shown in Figure 2, NH_3 has the highest SFC, while H_2 gives the lowest values and kerosene falls between the two. The higher SFC obtained with NH_3 is mainly due to its relatively low lower heating value, which means that more fuel is needed to produce the same thrust. Kerosene has a higher energy content than NH_3 , resulting in lower fuel consumption and intermediate SFC values. H_2 , on the other hand, has a much higher energy content per unit mass, which explains its lower SFC. For all three fuels, the SFC decreases as altitude increases, mainly as a result of the changes in ambient pressure. The thrust efficiency values obtained for the three fuels are presented in Figure 3.

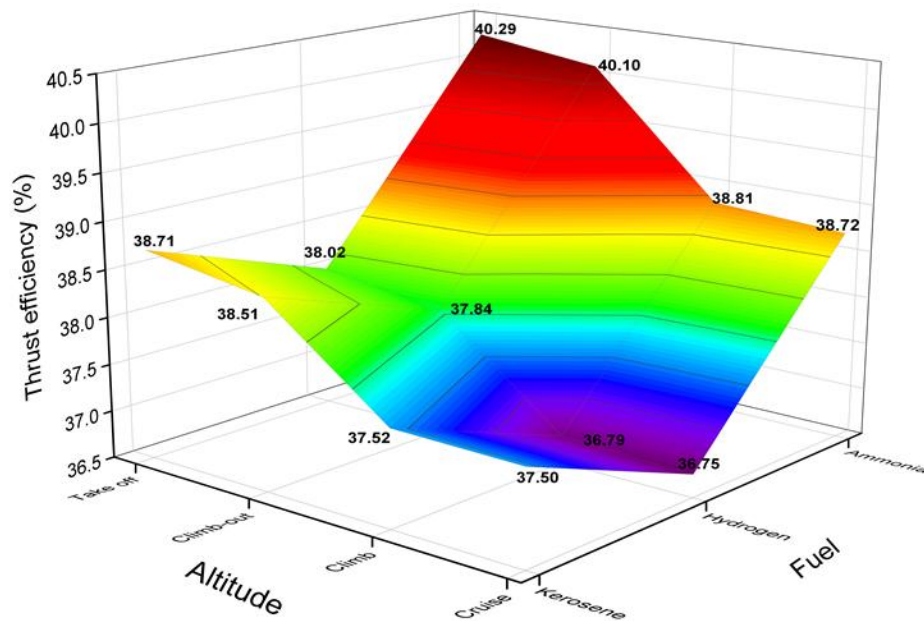


Figure 3. The thrust efficiency values of the turbofan engine different fuels

As shown in Figure 3, NH_3 gives the highest thrust efficiency, followed by kerosene, while H_2 has the lowest values. The relatively higher efficiency of NH_3 can be related to the way the combustion energy is converted into useful thrust under the operating conditions considered. Kerosene gives intermediate values, while the lower values obtained with H_2 are associated with its different combustion and exhaust-flow characteristics. For all three fuels, thrust efficiency decreases as altitude increases. This trend is mainly related to the reduction in ambient pressure and air density, which changes the airflow through the engine and the operating conditions of its main components. The thermal efficiency values obtained for the different fuels are presented in Figure 4.

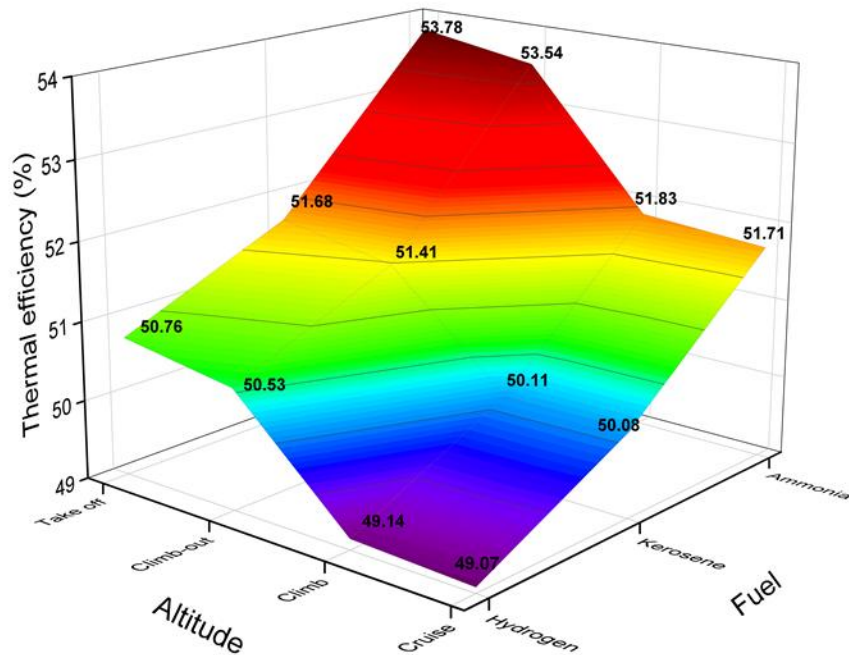


Figure 4. The thermal efficiency values of the turbofan engine different fuels

As shown in Figure 4, NH_3 gives the highest thermal efficiency, whereas H_2 shows the lowest values and kerosene remains between the two. The higher efficiency obtained with NH_3 may be related to the way its combustion energy is utilized within the engine cycle. Kerosene shows intermediate values, which can be attributed to its stable and well-established combustion characteristics. Although H_2 has a high energy content per unit mass, its combustion behavior and rapid heat release affect the temperature distribution and energy conversion in the engine, resulting in lower thermal efficiency under the conditions considered. For all three fuels, thermal efficiency tends to decrease with increasing altitude. This behavior is mainly associated with the lower inlet pressure at higher altitudes, which changes the compressor and combustion conditions. The exergy efficiency values obtained for the different fuels are presented in Figure 5.

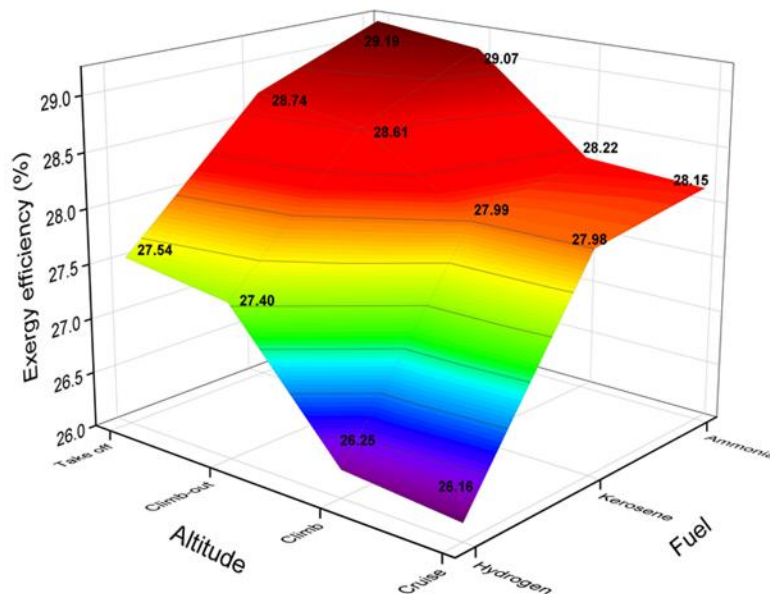


Figure 5. The exergy efficiency values of the turbofan engine different fuels

As shown in Figure 5, NH_3 gives the highest exergy efficiency, while H_2 has the lowest values and kerosene falls between the two. The higher exergy efficiency of NH_3 may be related to its lower combustion temperature, which can help reduce exergy losses during combustion. Kerosene shows an intermediate performance due to its combustion characteristics and the exergy losses occurring within the engine. Although H_2 has a high energy content, its higher flame temperature can increase the irreversibility associated with combustion and heat transfer, leading to lower exergy efficiency. The change in exergy efficiency with altitude is mainly related to variations in the inlet pressure and temperature, which affect the exergy losses throughout the engine. The CO_2 emission values obtained for the three fuels are presented in Figure 6.

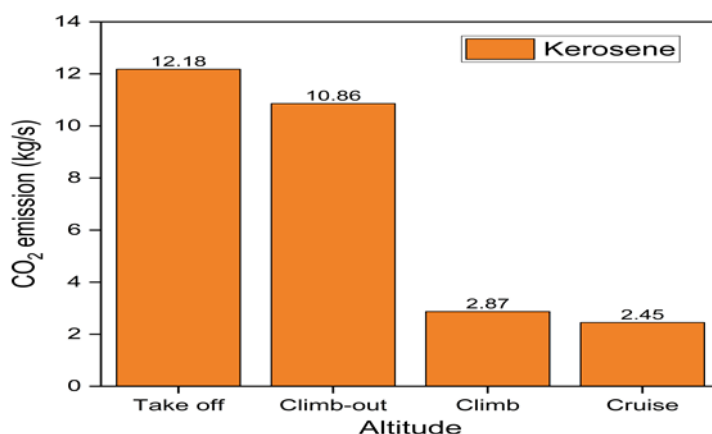


Figure 6. The CO_2 emission values of the turbofan engine different fuels

As shown in Figure 6, the CO_2 emissions from kerosene are 12.18, 10.86, 2.87, and 2.45 kg/s for take-off, climb-out, climb, and cruise, respectively. The highest emissions occur during take-off and climb-out, where the engine operates at higher power levels. In comparison, the use of H_2 and NH_3 reduces CO_2 emissions to nearly zero because neither fuel contains carbon.

Therefore, replacing conventional kerosene with H_2 or NH_3 can substantially reduce the direct CO_2 emissions of the turbofan engine.

5. CONCLUSION

In this study, the results of the thermodynamic performance analysis of the turbofan engine based on data obtained from the literature were compared with the results obtained using different fuel types. The main findings derived from the analysis are summarized below:

Specific fuel consumption: Under take-off conditions, using kerosene as the reference fuel, H_2 reduced the SFC by 63.23%, indicating a significant fuel saving. In contrast, the use of NH_3 increased the SFC by 123.05%.

Energy efficiency: Compared with kerosene, the energy efficiency of the turbofan engine increased by 4.06% with NH_3 , whereas it decreased by 1.78% with H_2 .

Exergy efficiency: Relative to kerosene, the turbofan engine shows a 1.57% improvement in exergy efficiency with NH_3 , while the use of H_2 results in a 4.17% decrease.

REFERENCES

- Akdeniz HY, Balli O. (2022). Impact of different fuel usages on thermodynamic performances of a high bypass turbofan engine used in commercial aircraft. *Energy* 238, 121745.
- Akdeniz HY, Balli O, Caliskan H. (2022). Energy, exergy, economic, environmental, energy based economic, exergoeconomic and enviroeconomic (7E) analyses of a jet fueled turbofan type of aircraft engine. *Fuel* 322, 124165.
- Akdeniz HY, Balli O, Caliskan H. (2023). Energy, exergy, thermoecologic, environmental, enviroeconomic and sustainability analyses and assessments of the aircraft engine fuelled with biofuel and jet fuel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 148(9), 3585–3603.
- Aygun H, Sheikhi MR, Caliskan H. (2024). Thermodynamics, environmental and sustainability impacts of a turbofan engine under different design conditions considering variable needs in the aviation industry. *Global Challenges*, 2300205.
- Balli O, Sohret Y, Karakoc HT. (2018). The effects of hydrogen fuel usage on the exergetic performance of a turbojet engine. *International Journal of Hydrogen Energy* 43(23), 10848–10858.
- Caliskan H. (2015). Novel approaches to exergy and economy based enhanced environmental analyses for energy systems. *Energy Conversion and Management* 89, 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.067>
- Cengel YA, Boles MA. (2010). *Thermodynamics: An Engineering Approach* Seventh Edition.
- Coşkun H, Oğur E, Yağlı H, Mert İ. (2026). How water injection affects high-pressure turbofan engine performance? A comprehensive energy, advanced exergy and exergy sustainability analyses. *Thermal Science and Engineering Progress*, 104544.
- da Silva RPP, Amini S. (2023). Energy, exergy and economic analysis for a combined cooling heat and power system: A case study for a university campus. *Case Studies in Thermal Engineering* 49, 103393.
- Dincer I, Rosen MA. (2015). *Exergy analysis of heating, refrigerating and air conditioning: methods and applications*. Academic Press.
- Kanbur BB, Xiang L, Dubey S, Choo FH, Duan F. (2018). Mitigation of carbon dioxide emissions using liquefied natural gas cold energy in small scale power generation systems. *Journal of Cleaner Production* 200, 982–995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.243>
- Korba P, Balli O, Caliskan H, Al-Rabeei S, Kale U. (2023). Energy, exergy, economic, environmental, and sustainability assessments of the CFM56-3 series turbofan engine used in the aviation sector. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126765>

- Oğur E, Koç A, Koç Y, Köse Ö, Yağlı H. (2025a). Investigation of thermodynamic performance of turbofan engine at different fan pressure and bypass ratios part a: Energy analysis. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences* 28(2), 630–643.
- Oğur E, Koç A, Köse Ö, Koç Y, Yağlı H. (2024). Performance assessment of ammonia as a turbofan engine fuel during various altitude levels. *Energy* 308, 132714.
- Oğur E, Koç A, Köse Ö, Yağlı H, Koç Y. (2025b). Energy, exergy, exergoeconomic, exergy sustainability and exergoenvironmental analyses (5E) of a turbofan engine: A comparative study of hydrogen and kerosene fuels. *Fuel* 381, 133324.
- Oğur E, Koç A, Köse Ö, Yağlı H, Koç Y. (2025c). Investigation of thermodynamic performance of turbofan engine at different fan pressure and bypass ratios part b: Exergy analysis. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 28(3), 1171–1188.
- Oğur E, Koç A, Yağlı H, Köse Ö, Koç Y. (2025d). Shifting to lower carbon emission for aircraft: An alternative fuel evaluation. *Energy* 316, 134426.
- Oğur E, Yağlı H, Koç A, Ambriz-Diaz VM. (2026). Comprehensive energy–exergy–sustainability analysis of a military aircraft engine with water injecting high-pressure compressor using JP-8 and NH₃-H₂ blend. *Energy*, 140200.
- Yuksel B, Balli O, Gunerhan H, Hepbasli A. (2020). Comparative performance metric assessment of a military turbojet engine utilizing hydrogen and kerosene fuels through advanced exergy analysis method. *Energies* 13(5), 1205.

ASSESSMENT OF LARGE LANGUAGE MODEL CODE GENERATION PERFORMANCE FOR THERMODYNAMIC CYCLE ANALYSIS IN ENGINEERING EQUATION SOLVER

Dr. Emine OĞUR

Adıyaman University, 02230, Altınşehir, Adıyaman, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-8020-9477

Dr. Emrullah KOCAMAN

Gaziantep University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 27000

Gaziantep, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-2303-8322

Assoc Prof. Dr. Hüseyin YAĞLI

Gaziantep University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 27000

Gaziantep, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-9777-0698

ABSTRACT

Engineering Equation Solver (EES) is widely used for the analysis of thermodynamic cycles, yet the reliability of large language models in producing code for such domain-specific solvers has not been established. This study reports a controlled benchmark of one language model on two cycles: a simple Rankine cycle operating with steam and a vapor-compression refrigeration cycle operating with R-134a. Each problem was submitted under two prompt conditions - a naive request, and an engineered prompt specifying seven syntax and execution-environment rules but no guidance on the solution procedure - and each condition was repeated three times, giving twelve runs. Every run was carried out in an isolated session, and the generated code was executed in EES verbatim and compared with independently developed reference solutions. Under the naive condition no run executed without modification, while four of the six engineered runs compiled, converged and reproduced all requested quantities at the first attempt. After repairs restricted to defects of form, all twelve programs agreed with the reference solutions within 1%, the largest deviation being 0.09%, and the repair effort fell from 2.00 to 0.33 interventions per run. Four failure modes were identified, none of which was thermodynamic: an incorrect decimal separator and an incorrect argument separator within property function calls under the naive condition, and, under the engineered condition, a silent unit-system declaration that produced a converged but incorrect solution with deviations of up to 85%, and a variable-name collision caused by the case-insensitive naming of EES. Specifying syntax reduces the repair burden but leaves failures that produce no error message at all.

Keywords: Engineering Equation Solver, large language models, code generation, thermodynamic cycle analysis, prompt engineering

1. INTRODUCTION

Engineering Equation Solver (EES) occupies a distinctive position among the computational tools used in thermal engineering. Rather than requiring the user to arrange a problem into an explicit sequence of assignments, EES accepts a set of simultaneous equations and solves them iteratively, while providing built-in thermophysical property routines for water, refrigerants, organic fluids and gases. This combination has made it a standard tool for the analysis of power,

refrigeration and combined cycles, both in undergraduate instruction and in published research (Klein & Nellis, 2012; Klein, 2020).

In parallel, large language models have become a routine part of the way engineers and students produce computational code. Their performance on general-purpose programming languages has been examined extensively, and code-generation benchmarks report high success rates for languages such as Python, for which very large volumes of public source code exist (Chen et al., 2021). Studies in engineering education have similarly examined how these models solve textbook problems and how their use affects learning outcomes (Kortemeyer, 2023).

The situation for domain-specific engineering software is less clear. EES differs from general-purpose languages in several respects that are directly relevant to code generation: arguments within function calls are separated by semicolons rather than commas, subscripted variables are conventionally written with underscores rather than bracketed array indices, variable names are not case sensitive, fluids must be referred to by exact internal names, and the equation set is declarative rather than procedural. The volume of publicly available EES source code is also far smaller than that of mainstream programming languages, a condition that has been identified as a general obstacle for language models in low-resource and domain-specific languages (Joel et al., 2024). A comparable evaluation has recently been reported for a domain-specific scientific code, in which generated molecular dynamics input scripts were checked first for syntactic validity and then for scientific accuracy (Holbrook et al., 2026). A model may therefore produce output that is thermodynamically reasonable in structure yet fails to execute, and the two kinds of failure - an incorrect physical formulation and an incorrect syntactic form - are easily conflated when only the final answer is inspected.

The present study originates from a practical observation. In an initial attempt by the authors, a language model was asked to produce an EES program for a simple Rankine cycle. The generated program did not execute: commas had been used as argument separators within property function calls, and subscripts had been written in bracketed array form. After these syntactic issues were corrected, without any change to the thermodynamic formulation, the same program converged and reproduced the reference result. This suggested that the observed failure was predominantly syntactic rather than thermodynamic, and that supplying syntax conventions in advance might substantially improve the usability of generated code. That suggestion is the hypothesis examined here.

Accordingly, this paper reports a controlled benchmark of language model code generation for EES. Two thermodynamic cycles are used as test cases and each is submitted under two prompt conditions: a naive request, and an engineered prompt that specifies EES syntax conventions but provides no guidance on the thermodynamic solution procedure. Generated programs are executed in EES without modification and evaluated against independently developed reference solutions in terms of compilation, convergence and numerical deviation. The contribution of the study is therefore twofold: it provides a quantitative measure of code-generation reliability for a domain-specific engineering solver that has not previously been assessed in this way, and it isolates the effect of syntax specification from that of solution guidance. The scope is deliberately limited, and the study is presented as a preliminary evaluation intended to establish the measurement procedure.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 describes the benchmark problems, the reference solutions, the prompt conditions, the run protocol and the evaluation criteria. Section 3 presents the results, Section 4 discusses what the failure modes mean for both cycle analysis practice and engineering education, and Section 5 wraps up.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Benchmark Problems

Two thermodynamic cycles were selected as benchmark cases: a simple Rankine cycle operating with steam and a vapor-compression refrigeration cycle operating with R-134a. The two cases were chosen because they represent the most widely taught power and refrigeration cycles, and because they require different thermophysical property routines within EES.

In the Rankine case, steam enters the turbine at 8.5 MPa and 520 °C and is condensed at 12 kPa, with saturated liquid leaving the condenser; the isentropic efficiencies of the turbine and the pump are 87% and 82%, respectively. In the refrigeration case, R-134a evaporates at -8 °C and condenses at 44 °C, leaving the evaporator as saturated vapor and the condenser as saturated liquid; the isentropic efficiency of the compressor is 78% and the refrigeration load is 6 kW.

Both problems were adapted from standard textbook worked examples (Çengel et al., 2019), with the numerical values modified in order to limit the influence of training-data memorization. Component isentropic efficiencies were deliberately included so that each solution requires an iterative property evaluation rather than the recall of a memorized result.

2.2 Reference Solutions

Reference solutions were developed independently by the authors in EES (Klein, 2020), using the SI C kPa kJ mass deg unit system. We verified each solution by checking that the energy balance closed and by tracing the calculation step by step against the corresponding textbook procedure. The Rankine outputs we recorded were net specific work, thermal efficiency and the quality at the turbine exit; for the refrigeration cycle we recorded COP, compressor power and refrigerant mass flow rate. All generated programs were evaluated against these values.

2.3 Prompt Conditions

Each problem was submitted under two prompt conditions.

The naive condition consisted of the problem statement together with a single instruction to write an EES program that solves it, without any further guidance.

The engineered condition consisted of the same problem statement, a statement that the EES installation in use adopts a European regional number format, and seven syntax rules derived from the practical use of EES. In the terminology of prompt engineering, the engineered prompt combines a context-setting statement with an explicit output-format specification (White et al., 2023). The rules were: the use of a comma rather than a point as the decimal separator; the use of semicolons rather than commas as argument separators within function calls; the use of underscore subscripts rather than bracketed array notation for variable names; the use of exact EES fluid names; the use of built-in property functions; the declaration of all given values at the beginning of the program with units indicated in comments; and the return of code only, without additional explanation.

The first rule stands apart from the other six. It has nothing to do with EES syntax; it reflects a Windows locale setting. EES reads whichever decimal mark the operating system dictates, so code that runs on a machine set to the point will be rejected on one set to the comma. No language model can guess this from the problem text. We therefore treat this piece of information as an environment specification, not as task assistance.

2.4 Run Protocol

We deliberately left out any hint about the thermodynamic solution procedure. If the engineered runs do better, that improvement traces back to syntax and environment information alone, not to help with the physics.

Each problem was submitted under each condition three times, giving a total of twelve runs. All runs were performed with the same model, Claude Opus 5, at the same reasoning effort setting (High), on 12 August 2026.

We opened a fresh incognito chat for every run, with memory and conversation history switched off. This step was critical: without it, syntax rules picked up in an earlier session could leak into the naive condition and invalidate the comparison. As a check, we asked the model before the first run whether it had any stored information about our EES setup; it confirmed that it did not. We copied the generated code into EES character by character, changing nothing, and pressed Solve. Whatever happened next, whether the program ran or crashed, is what we report as the primary measurement.

2.5 Evaluation Criteria

When a run failed on the first try, we moved to a second stage. We fixed the code and ran it again, keeping a record of every fix and its type. Only form-level defects were touched: decimal marks, argument separators, variable names that clash under EES's case-insensitive naming, and unit-system declarations. We did not add, delete, reorder or rewrite any equation, and we did not change any numerical value. The logic behind this two-stage protocol is straightforward. If a program works after purely cosmetic fixes, then the thermodynamics was correct from the start and the failure was about form, not about physics.

Each run was evaluated against three criteria. The first is compilation: whether the program is accepted by EES without a syntax error and without manual correction. The second is convergence: whether the solver reaches a converged solution. The third is accuracy: the relative deviation of each requested quantity from the corresponding reference value, expressed as a percentage. A run was classified as successful when it compiled, converged, and reproduced all requested quantities within 1% of the reference solution.

Because a program may compile and converge while solving a different problem from the one posed, compilation and convergence are not treated as sufficient conditions for success. Accuracy against the reference solution is applied to every run, including those that produce no error message.

Success is reported at two levels. First-attempt success requires that all three criteria be satisfied by the code exactly as generated, with no repair of any kind. Repaired success denotes a run that satisfies the three criteria after the restricted repairs described in Section 2.4, and is reported together with the number of repairs required.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 First-Attempt Outcomes

In addition, the errors observed in unsuccessful runs were recorded and grouped into recurring failure modes.

Table 1 summarizes the outcome of the twelve runs. Under the naive condition, no run produced a program that executed without modification: the first-attempt success rate was zero of six. Under the engineered condition, four of the six runs compiled, converged and reproduced every requested quantity at the first attempt.

Table 1. Outcome of the twelve runs by prompt condition and cycle.

Condition	Cycle	First-attempt success	Repairs per run	Success after repair
Naive	Rankine	0 / 3	2.00	3 / 3
Naive	R-134a	0 / 3	2.00	3 / 3

Engineered	Rankine	2 / 3	0.33	3 / 3
Engineered	R-134a	2 / 3	0.33	3 / 3
Naive, overall	Both	0 / 6	2.00	6 / 6
Engineered, overall	Both	4 / 6	0.33	6 / 6

3.2 Failure Modes

The naive failures were uniform. All six naive runs failed in the same two-stage sequence, and the sequence was independent of the cycle, of the working fluid and of the internal structure of the generated program. In every case the program was rejected first for its decimal marks and then, once those had been converted, for the separators inside its property function calls. The two remaining failures, both of which occurred under the engineered condition, were of an entirely different character and are described in Section 3.2.

Table 2. Observed failure modes and their frequency.

Code	Failure mode	EES message	Naive	Engineered
H1	Decimal separator	Illegal character . was encountered while evaluating <value>	6	0
H2	Argument separator inside property functions	A syntax error in a property function reference was encountered	6	0
H3	Silent unit system declaration	none - the program compiles and converges	0	1
H4	Variable name collision under case-insensitive naming	This equation resets the value of previously-defined variable	0	1

Four distinct failure modes were observed. None of them was thermodynamic: in no run was a governing equation, a state definition or a component model formulated incorrectly. The four modes are listed in Table 2 and described below.

H1, the decimal separator, appeared in every naive run. The model wrote numerical constants in the form 0.87, whereas the EES installation used for the study recognizes the comma as the decimal separator and rejects the point as an illegal character. The defect is not a property of the model's understanding of the problem but of the regional configuration of the machine on which the code is executed, and the same program text would have been accepted without modification on an installation configured for the point. In one run the decimal points appeared at two separate locations in the program, so that repairing the first reported occurrence merely produced the same error at the next; the repair therefore required a scan of the whole program rather than a single edit.

H2, the argument separator, likewise appeared in every naive run, but only became visible after H1 had been cleared. EES reports one error at a time, so the two defects were encountered in sequence rather than simultaneously. The model separated the arguments of property functions with commas, which is the convention of general-purpose programming languages, whereas EES requires semicolons.

H3, the silent unit system declaration, occurred once, in the third repetition of the engineered condition for the Rankine cycle. The program compiled, converged and returned a complete set of results without any error message. The unit system had, however, been declared as SI K rather than SI C, while the turbine inlet temperature was supplied as the bare number 520. The program therefore solved a cycle with a turbine inlet temperature of 520 K, that is 247 degrees Celsius, instead of 520 degrees Celsius. The reported thermal efficiency was 0.1917 against a reference value of 0.3424, the net work 163.6 kJ/kg against 1104 kJ/kg, and the turbine exit quality 0.2894 against 0.8901; the corresponding deviations are 44.0%, 85.2% and 67.5%. Changing a single character in the unit system declaration, with no other modification, restored agreement with the reference solution.

H4, the variable name collision, occurred once, in the first repetition of the engineered condition for the refrigeration cycle. The model denoted the 6 kW refrigeration load by Q_L and the specific refrigeration effect by q_L , following the standard thermodynamic convention in which an uppercase symbol denotes a total or rate quantity and the corresponding lowercase symbol denotes the quantity per unit mass. Variable names in EES are not case sensitive, so the two symbols refer to one variable and the second definition was reported as resetting the first. In short, the model followed the textbook naming convention faithfully, but EES cannot tell Q_L from q_L . It is worth recording that this run complied with all seven rules of the engineered prompt; the defect lay outside the rule set rather than in a failure to observe it.

3.3 Accuracy After Repair

The distribution in Table 2 is itself a result. H1 and H2 were eliminated entirely by the engineered prompt, which addresses both explicitly. H3 and H4 were observed only under the engineered condition, where the surface syntax had been resolved and the remaining defects were no longer masked by an immediate rejection of the program.

Table 3. Values obtained after repair, compared with the reference solutions.

Quantity	Reference	Naive runs	Engineered runs	Max. deviation
Rankine: net work (kJ/kg)	1104	1104 - 1105	1104	0.09%
Rankine: thermal efficiency	0.3424	0.3424	0.3424	0.00%
Rankine: turbine exit quality	0.8901	0.8901	0.8901	0.00%
R-134a: COP	2.98	2.98	2.98	0.00%
R-134a: compressor power (kW)	2.013	2.013	2.013	0.00%
R-134a: mass flow rate (kg/s)	0.04565	0.04565	0.04565	0.00%

Every run reproduced the reference solution once the repairs described in Section 2.4 had been applied, including the two runs that failed under the engineered condition. Twelve of twelve repaired programs agreed with the reference values within the 1% criterion, and the largest deviation observed across all runs and all quantities was 0.09%, in the net work output of two Rankine runs. All six refrigeration runs agreed with the reference values to every reported digit.

3.4 Variation Between Repetitions

The repair effort required to reach this agreement differed sharply between the two conditions. The six naive runs required twelve repairs in total, two in each run, and the two repairs were the same in every case. The six engineered runs required two repairs in total, one in each of the two failing runs, giving an average of 0.33 repairs per run. The engineered prompt therefore did not eliminate failure, but reduced the number of interventions required by a factor of six.

The three repetitions of each condition produced programs that differed in form while agreeing in result. In the Rankine case the pump work was obtained in some runs from the isentropic enthalpy difference and in others from the incompressible-fluid approximation. In the naive condition the state variables were written sometimes as bracketed arrays and sometimes as underscore subscripts, and the working fluid was referred to sometimes directly and sometimes through a string variable; in the engineered condition underscore subscripts were used consistently, as instructed. Several runs computed quantities that had not been requested, among them the reversed-Carnot coefficient of performance, the second-law efficiency, the heat-pump coefficient of performance and an explicit overall energy balance check.

4. CONCLUSIONS

These differences did not propagate to the results. Every repaired program returned the same values to the digits reported in Table 3. Repetition under a fixed prompt therefore varied the form of the generated program rather than its physical content, which is consistent with the observation that no failure mode encountered in this study was thermodynamic in origin.

This study examined the reliability of large language model code generation for Engineering Equation Solver through twelve controlled runs covering two thermodynamic cycles and two prompt conditions. Under the naive condition no run produced a program that executed without modification. Under the engineered condition, which specified syntax conventions and the regional number format of the execution environment but gave no guidance on the thermodynamic solution procedure, four of six runs succeeded at the first attempt. After repairs restricted to defects of form, all twelve programs reproduced the reference solutions within the 1% criterion, with a largest deviation of 0.09%.

The central finding is that the observed failures were failures of form rather than of physics. In none of the twelve runs was a governing equation, a state definition or a component model formulated incorrectly, and every program that was repaired converged to the reference values without any change to its equation set. A low first-attempt success rate for a domain-specific solver should therefore not be read as evidence that the model cannot analyse the cycle. The two questions are separable, and separating them requires that the generated code be executed rather than inspected.

The most frequent failure was not a property of EES at all. In every naive run the program was rejected because numerical constants had been written with a point as the decimal separator, while the installation used for this study recognizes the comma. The same generated text would have executed without modification on a machine configured for the point. Users working in comma-decimal locales therefore face a systematic obstacle that is invisible in evaluations carried out in point-decimal environments, and that disappears as soon as the execution environment is described in the prompt. This suggests that the specification of the environment, and not only of the language, belongs in prompts for engineering software.

Specifying syntax reduced the repair burden by a factor of six, but it did not eliminate failure; it changed its character. The two failures that remained under the engineered condition were of the kind that does not announce itself. One program compiled, converged and returned a

complete set of results while solving a cycle with a turbine inlet temperature of 520 K instead of 520 degrees Celsius, deviating from the reference by as much as 85%. The other reproduced a notation that is standard in thermodynamics, an uppercase symbol for a rate quantity and its lowercase counterpart for the corresponding specific quantity, which the case-insensitive naming of EES cannot represent. Without a reference answer in hand, a user would have accepted that output at face value. Running the code is not enough. We recommend two additional checks: read the \$UnitSystem line before trusting the numbers, and write an explicit energy balance into the program so that a non-zero residual flags an inconsistency.

REFERENCES

- Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Pinto, H. P. de O., Kaplan, J., ... Zaremba, W. (2021). *Evaluating large language models trained on code* (arXiv:2107.03374). arXiv.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Holbrook, E. W., Verduzco, J. C., & Strachan, A. (2026). Evaluating LLM-generated code for domain-specific languages: Molecular dynamics with LAMMPS. *Computational Materials Science*. Advance online publication.
- Joel, S., Wu, J. J. W., & Fard, F. H. (2024). *A survey on LLM-based code generation for low-resource and domain-specific programming languages* (arXiv:2410.03981). arXiv.
- Klein, S. A. (2020). *Engineering Equation Solver* [Computer software]. F-Chart Software.
- Klein, S. A., & Nellis, G. F. (2012). *Thermodynamics*. Cambridge University Press.
- Kortemeyer, G. (2023). Could an artificial-intelligence agent pass an introductory physics course? *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010132.
- White, J., Fu, Q., Hays, S., Sandborn, M., Olea, C., Gilbert, H., Elnashar, A., Spencer-Smith, J., & Schmidt, D. C. (2023). *A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with ChatGPT* (arXiv:2302.11382). arXiv.

MANİSA ÖĞRETMENLERİNİN HATAY SEYAHATI (TEMMUZ 1939)**Prof. Dr. İsmet ÜZEN**Kilis 7 Aralık University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of History,
79100, Kilis**ORCID ID:** 0000-0002-6605-7267**ÖZET**

Hatay, İlkçağlardan başlayarak çeşitli devletlerin sınırları içinde yer aldı. Osmanlı Devleti Birinci Dünya Savaşında yenilince Antakya, İngilizler tarafından işgal edildi ve daha sonra İngilizler de aralarındaki anlaşma sonucu Fransızlara devretti. Fransızların buradan çekilmeye karar vermesi üzerine İskenderun Sancağı'nın geleceği konusunda Türkiye harekete geçti ve diplomatik yollarla buranın önce bağımsız olmasını, sonra da Türkiye'ye katılmasını sağladı. Bu süreçte Türk kamuoyu da gelişmeleri sabırsızlıkla izledi. Manisa öğretmenlerinden bir grup da Temmuz 1939'da Hatay'ı ziyaret etmeye karar verdi ve 15 günlük bir gezi programı hazırladı. Hazırlanan seyahat programına göre, 5 Temmuz 1939 Çarşamba günü yola çıkılacak, Balıkesir'de bir gün kalınacak, Kütahya, Eskişehir üzerinden Ankara'ya varılacak, Ankara'da iki gün kalınacak buradan Kayseri, Adana, İskenderun üzerinden Hatay'a varılacaktı. Hatay'da iki gün kalınacaktı. Dönüş güzergâhı Mersin, Konya ve Afyon üzerinden 20 Temmuzda Manisa'ya varılacak şekilde planlandı. 33 kişiden oluşan kabile trenle İskenderun'a, oradan da karayoluyla Hatay'a vardı. Burada iki gün geçirdiler. Otellerde yer olmadığı için üçer beşer gruplar halinde evlere misafir edildiler. Kaldıkları süre içinde Hatay çarşısı, okul ve güzel bir mesire yeri olan Harbiye'yi gezdiler. Hatay'ın bağımsızlık süreci hakkında bilgi aldılar. Hatay ziyaret günleri hafta sonuna denk geldiği için resmi makamlarla temas edemediler ve bu durum onlar için bir eksiklik oluşturdu. Seyahate dair bilgiler, geziye katılan Avni Altınar tarafından kaleme alındı ve bunlar Anadolu gazetesinde yayınlandı. Bu çalışmada, Anadolu gazetesinde yayınlanan bilgilerden yararlanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hatay, Manisa öğretmenleri, Hatay gezisi izlenimleri

TRIP OF MANISA TEACHERS TO HATAY (JULY 1939)**ABSTRACT**

Hatay has been within the borders of various states since ancient times. When the Ottoman Empire was defeated in World War I, Antakya was occupied by the British, who later handed it over to the French as a result of an agreement between them. When the French decided to withdraw, Türkiye took action regarding the future of the Sanjak of Alexandretta and, through diplomatic means, ensured its independence and then its incorporation into Turkey. During this process, the Turkish public also followed the developments with impatience. A group of teachers from Manisa also decided to visit Hatay in July 1939 and prepared a 15-day trip program. According to the prepared travel itinerary, the journey would begin on Wednesday, July 5, 1939, with a one-day stop in Balıkesir, followed by travel through Kütahya and Eskişehir to Ankara, where they would spend two days before continuing through Kayseri, Adana, and İskenderun to Hatay. They were going to stay in Hatay for two days. The return route is planned to pass through Mersin, Konya, and Afyon, arriving in Manisa on July 20th. The group of 33 people travelled by train to İskenderun and then by road to Hatay. They spent two days there. Because there were no rooms available in hotels, they were accommodated in homes in groups of three or five. During their stay, they visited the Hatay market, the school, and Harbiye, a

beautiful picnic area. They received information about Hatay's independence process. Their visit to Hatay coincided with the weekend, so they were unable to contact official authorities, which was a drawback for them. Information about the trip was written by Avni Altınar, who participated in the trip, and published in the Anadolu newspaper. This study utilized information published in the Anadolu newspaper.

Keywords: Hatay, teachers from Manisa, impressions of the Hatay trip

1. GİRİŞ

Hatay, Tunç Çağından itibaren kurulan bazı beyliklerin, ardından Akadların, Yamhad Krallığı'nın, Hititlerin, Mısırlıların, tekrar Hititlerin, devamında, Asurluların, Urartuların, Perslerin ve Büyük İskender Devletinin egemenliğinde kaldı (<https://hatay.gov.tr/tarihsel-surec-icinde-hatayda-kultur-ve-uygarlik> Erişim Tarihi: 03.02.2026) İskender'in ölümünden sonra imparatorluğu paylaşan kumandanlarından Selevkos Antakya şehrini kurdu. Bölgede M.Ö. 64'te doğrudan Roma hâkimiyeti kuruldu. Roma imparatorluğu bölününce Antakya Doğu Roma'nın (Bizans'ın) sınırları içinde kaldı. Bir süre Sasanilerin elinde kalan şehir tekrar Bizans'ın, 638'de Hz. Ömer zamanda Müslümanların eline geçti. Devamında, Emevi, Abbasi, Tolunoğulları, İhşidiler, tekrar Bizans, Selçuklu, Haçlı, Memluk ve Osmanlı hâkimiyetinde kaldı (Salihlioğlu 1991).

Birinci Dünya Savaşı sonunda imzalanan Mondros Ateşkes Anlaşmasının ardında İskenderun 9 Kasım 1918'de önce 15 kişilik bir İngiliz müfrezesi tarafından işgal edildi. Fransız Cantelas Torpidosu Komutanı ve İskenderun Körfezi Bahriyesi Komutanı David Bouregard ile İskenderun Mevki Komutanı Ali Bey arasında İskenderun'un boşaltılması ile ilgili protokol düzenlendi. Düzenlenen protokol gereği 9 Kasım'da İskenderun ve çevresi, 10 Kasım'dan itibaren de Amanos sıradağları ile İskenderun Körfezi - Payas hattı arasındaki bölge boşaltıldı. 11 Kasım 1918'de, İskenderun halkından bir grubun yaptığı nümayişi bahane eden David Bouregard, şehirdeki Türk memur, polis ve jandarmaların hemen şehri terk etmelerini emretti ve ilgililer de buna uyarak İskenderun'u terk etti. Osmanlı Hükümeti'nin yerlerini terk etmemeleri emri üzerine, kaymakam ve liman reisi geri geldi. Fakat Fransız komutan tarafından kaymakam ve liman reisi tutuklanarak hapsedildi ve 16 Kasım'da da bir vapurla Payas'a gönderildi (T.C. Genelkurmay Başkanlığı 1999; T.C. Genelkurmay Başkanlığı 2009).

Birinci Dünya Savaşı sonunda toplanan Paris Barış Konferansında İngiltere ve Fransa, Arap coğrafyasında manda rejimleri kurmaya karar verdi. Nisan 1920 toplanan San Remo Konferansı'nda İngiltere ve Fransa, Orta Doğu'yu aralarında paylaştı. Suriye ve Lübnan Fransız, Irak, Ürdün ve Filistin İngiliz mandasına verildi (Armaoğlu 1988).

Milli Mücadelede döneminde Sakarya Zaferinin ardından, TBMM Hükümeti ile Fransa arasında 20 Ekim 1921'de Ankara Antlaşması imzalandı. Anlaşmanın 7. Maddesinde *"İskenderun mıntıkası için bir usulü idarei mahsusa tesis olunacaktır. Mıntakai mezkûrenin Türk ırkından olan sekenesi harislerinin inkişafı için her türlü teshilâtta müstefit olacaklardır. Türk lisanı orada mahiyeti resmîyeyi haiz olacaktır."* (İskenderun bölgesi için bir özel idare rejimi kurulacaktır. Bu bölgenin Türk ırkından olan halkı kültürlerinin gelişmesi için her türlü kolaylıktan yararlanacaktır. Türk dili orada resmî niteliğe sahip olacaktır.) denilmekteydi (Düstur 1929). İskenderun sancağının o dönemde Suriye'ye terk edilmesi Türkiye için önemli fedakârlık örneği idi (Gönlübol-Sar 1997). Lozan Barış Anlaşmasının 3. Maddesinde 20 Ekim 1921 tarihli Ankara Antlaşmasının Suriye sınırını oluşturduğu kabul edildi (Düstur 1931).

Suriye üzerinde manda yönetiminin kaldırılması ve Suriye'ye bağımsızlık verilmesi konusunda Fransa ve Suriye arasında 9 Eylül 1936'da bir anlaşma yapıldı. Ekim 1936'dan başlayarak,

Türkiye ve Fransa arasında İskenderun Sancağının statüsü sorunu süreci başladı. Taraflar arasındaki karşılıklı notalar sonunda meselenin Milletler Cemiyetine götürülmesi kabul edildi. Milletler Cemiyeti, 14 Aralık 1936'da Sandler'i mesele için raportör atadı. Rapor doğrultusunda üç kişilik bir gözlemci heyeti oluşturuldu ve Ocak başında Sancak'a gitti. Türkiye ve Fransa'nın prensipte anlamaya varması üzerine, Milletler Cemiyeti 27 Ocak 1937'de bu prensip anlaşmasını kabul etti. Buna göre, İskenderun ve Hatay özel bir statüsü ve anayasası, içişlerinde tam bağımsız, Suriye ile gümrük birliğine sahip "ayrı bir varlık" olacaktı. Ocak 1938'de Sancak'ta uygulanacak seçim sistemi üzerinde uzlaşıldı. Avrupa'da savaş tehlikesinin hızla yaklaşması üzerine Sancak meselesine Fransa'nın yapıcı tavrı daha da arttı ve 3 Temmuz 1938'de Sancak'ın korunması yönünde askeri bir anlaşma yapıldı. Buna dayanarak Türk birlikleri (2.500 kişi) Sancak'a girdi. Ağustosta 40 kişiden oluşacak Sancak Meclisi için seçimler yapıldı. Sancak Meclisinin 22'sini Türk milletvekilleri oluşturdu. 2 Eylül 1938'de Meclisin açılmasıyla Hatay Devleti fiilen hayata geçti. Hatay Meclisi, Sancak'a Hatay devleti adını verdi. Hatay Devleti yaklaşık bir yıl kadar bağımsız kaldı. 29 Haziran 1939'da Türkiye'ye katılmaya karar verdi ve Türkiye'nin bir vilayeti oldu Gönübol-Sar 1997; Akşin 1991; Sarıay 1996; Sarıay 1996). 23 Temmuz 1939'da Türk ve Fransız birlikleri arasında Hatay'ın Türkiye'ye devredilmesi ile ilgili bir tören yapıldı. Törende, Fransız birliği, Antakya kırsalındaki Fransız bayrağını indirerek Sancak'tan ayrılırken yerine Türk bayrağı çekildi (Yamaç 2023).

1936'dan itibaren Fransa'nın Suriye ile ilgili kararı ve Hatay sorunu aynı zamanda Türkiye kamuoyunun da ilgi odağı olmuş ve Hatay'ın Türkiye'ye katılması konusundaki gelişmeleri yakından takip etmiştir. Manisa'da görev yapan öğretmenler Hatay'ın Türkiye Cumhuriyeti'ne katılması sürecinde Manisa'ya bir seyahat yapma kararı vermiştir. O dönemde, Manisa'da görev yapan 460 öğretmenden kadın ve erkek 33 kişi bu seyahate katılmıştır (Anadolu, 11 Temmuz 1939). Avni Altınar tarafından kaleme alınan ve 23 sayıdan oluşan seyahat notları tefrika halinde Anadolu gazetesinde 11 Temmuz-10 Ağustos 1939 tarihleri arasında yayınlanmıştır. Bu notlar, Manisa'dan Hatay'a uzanan gidiş ve dönüş intibalarını ele alan bir yazı dizisidir. Yazı dizisinde, Hatay'a kadar olan vilayetlerde karşılaşılanlar, şehrin genel görünüşü, şehre ait okul, öğretmen öğrenci sayıları, yayınlanan gazete isimleri, izzet ve ikramlar vs. hakkında bilgiler ile seyahat sırasında çeşitli yerlerde çektiği çok sayıda fotoğrafa da yer verilmiştir. Bu çalışmada heyetin Hatay'a ait gözlemlerine yer verilecektir.

Hatay'a seyahat fikri şöyle doğmuştu: Temmuz 1939'da sınavlar arası bir dönemde Manisa Maarif Müdürlüğünde mesleki neşriyat için bir toplantı yapılyordu. Manisa Kültür Direktörü (Müdürü) Rauf İnan Hatay'dan bir öğretmen arkadaşının gönderdiği ve Hatay'daki 23 Nisan kutlamalarına ait bazı fotoğrafları hazır bulunanlara göstermişti. Rauf İnan, o yaz Balıkesir'e yapılması planlanan gezinin Hatay'a kadar uzatılmasını teklif edince hazır bulunanlar oybirliği ile bunu kabul etmiştir. Devamında gezinin en ucuz yol masrafları tetkik edilmiş ve gidiş dönüş tüm yol masrafının 17,5 lirasının üçüncü mevki tren bileti, kalanının yemek ve konaklama masrafı olmak üzere 30 lira olacağı sonucuna varılmıştır. Hazırlanan seyahat programına göre, 5 Temmuz 1939 Çarşamba günü yola çıkılacak, Balıkesir'de bir gün kalınacak, Kütahya, Eskişehir üzerinden Ankara'ya varılacak, Ankara'da iki gün kalınacak buradan Kayseri, Adana, İskenderun üzerinden Hatay'a varılacaktı. Hatay'da iki gün kalınacaktı. Dönüş güzergâhı Mersin, Konya ve Afyon üzerinden 20 Temmuzda Manisa'ya varılacak şekilde planlandı. Manisa öğretmen heyeti, akşam tren istasyonunda toplanıp yola çıkmıştır. Yola çıkmadan önce, bir gezi komitesi belirlenmiş, başkanlığına Celâl Gürsoy, Enver ve Sekine Şeref yardımcılıklara seçilmiştir (Anadolu, 11 Temmuz 1939).

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Hatay'a Yaklaşırken

Manisa'dan hareket eden heyet, Balıkesir, Kütahya, Eskişehir, Ankara, Kayseri ve Adana'ya gelmiştir. Trenle Adana'dan Hatay'a giderken Hataylı olup Adana'da oturan Sandıkçı Şükrü'nün hatıralarını dinlediler. Onun anlattıklarına göre, 900 kadar Hataylı Adana'dan Hatay'a varmış ve Türk düşmanları tarafından taşlanmış, bütün bunlara rağmen seçimde itidallerini muhafaza etmişlerdi (Anadolu, 25 Temmuz 1939). Toprakkale'ye varınca başka bir trene aktarma yapıp 45 dakika sonra Payas'a geldiler. Burada 15 günlük biletin geçmediğini gördüler ve İskenderun'a kadar kişi başı 19 kuruşa yeni bilet almak zorunda kaldılar. Biletlerde Fransızca kelimeler yer aldığı gibi, vagonlardaki mevki isimleri de Fransızca idi. Fakat pencerelerinde ay yıldız vardı (Anadolu, 25 Temmuz 1939; 26 Temmuz 1939).

İstasyonda bir sivil polis kimliklerini kontrol etti. Trenin kalkması için iki saat beklediler. Yola çıktıkları günden beri bir sonraki durağa geleceklerini bildiren telgraflar çekmişlerdi. Genelde o yörenin öğretmenleri tarafından bu sayede karşılanmışlardı. Kendilerine kalacak yer bulması için İskenderun polis müdürlüğüne bir telgraf çekmişlerdi. Ayrıca Adana'dan Antakya Eğitim Amirliği'ne de geleceklerini bildirmişlerdi. Antakya'nın da İskenderun öğretmenlerini bilgilendirdiğini umuyorlardı. Geceleyn vardıklarında kendilerini karşılayacak kimsenin olmamasından endişe ediyorlardı. Kafileden bir grup öğretmen, yapılacak toplantılarda okunacak şiirleri, söylenecek şarkıları ve konuşma yapacak hatipleri belirlemeye çalışıyordu. Bir kısmı da söylenecek olan Manisa şarkısını mırıldanıyordu. İskenderun istasyonunda tren durduğu zaman sabaha daha iki saat vardı. İstasyonda bir tarafı Arapça, bir tarafı Türkçe "İskenderun" yazılı bir levha görünüyordu. İstasyonda daha önce Manisa'da yaşamış olan ve Hatay'ın istiklâli için oraya giden Antakya İkinciokul Başöğretmeni Lâtif Bey kendilerini karşıladı. İskenderun'da iyi otel olmadığını ve olsa da hepsinin dolu olduğunu söyleyerek Antakya'ya gideceklerini söyledi ve üç otobüse onar kişi bindiler. Antakya-İskenderun arası 60 km. idi. Fransızların çok güzel bir asfalt yol ile mükemmel bir telefon şebekesi kurduğunu öğrendiler. Memleket türküleri söylediler. Güneş doğarken ufuktan Antakya görünmeye başladı. Uyuyanlar, uyuklayanlar uyandı. Sonunda Antakya garajına vardılar (Anadolu, 26 Temmuz 1939).

2.2. Antakya'da

Başöğretmen Lâtif'in evine konuk oldular. Orada, Lâtif'in pederi Belediye müfettişi Mehmet Ali ve eşiyle tanıştılar. Otellerde yer olmadığından üçer beşer gruplar halinde evlere dağıtıldılar. Avni Altınar, ev sahibi Latif Beyi, Hatay insanlarını ve mimarisini şöyle tasvir etmiştir:

"Ev sahibimiz zabıta belediye memurlarından Sefer oğlu Halef. Mütevazı, misafirperver ev sahibimi tetkik ediyorum. Bunda da yağız ve uzunca bir sima. Uzun bir boy, çatık kaşlar, fakat güler bir yüz. Zaten Hatay'da sarışın bir tipe mavi bir göze rastlayamadık. Bütün simalar hafif esmer ve beyaz. Karakaşlar, siyah saçlar, simalar uzunca. Bunlar Türk tipidir. Ermeni ve Rumlar ise ırklarının ezeli tipini muhafaza etmekle beraber burada dillerini kaybetmiş. Sokakta rastladığım Rum kadını Arapçadan başka bir dil bilmiyor. Alış veriş ettiğimiz kuyumcu Ermeni, hırdavatçı Musevî hep Arapça konuşuyor. Kısaca söylemek lâzım gelirse burada Yahudi, Rum, Ermeni vatandaşlar kendi dillerini hiç bilmiyorlar ve her şeyi kaybetmişler, Araplaşmışlar. Fakat Türkler öyle mi ya. Onlar, dilini, terbiyesini, harsını, hatta Türk'e has âdetlerini inanılmaz bir kıskançlıkla muhafaza etmiş. Bunun en güzel numunesi, karşımızdaki ev sahibimiz. Evler ekseriyetle birbirine benziyor. Çoğunda kafes; Anadolu'nun birçok yerlerindeki tertip ve inşa aynen burada da var."

Kahvaltıdan sonra birkaç saat uyumak sıcak ve terden dolayı mümkün olmayınca, öğle yemeğine kadar şehrin çarşısını görmek için ev sahibiyle çarşıya çıktılar. Halef'in anlattığına göre, Cumartesi olduğu için Yahudi dükkânları kapalı idi. Ermeni ve Rumların dükkânlarının kapalı olmasının sebebi Halep'e kaçmalarından kaynaklanıyordu. Çünkü Ermeni ve Rumlar, Fransız sömürge idaresi Hatay'da sona erinceye kadar Türklere çok kötülük yapmışlardı ve şimdi bunun hesabının sorulacağından korkuyorlardı. Türkler onlara kalmalarını ve yaptıkları kötülöklere dair her şeyi unuttuklarını söylemelerine rağmen bu "Sarı Kartlılar" kalmamışlardı. Sarı Kartlı'nın ne demek olduğu sorulduğunda, Muhtelit Komisyonu (Milletler Cemiyeti Karma Komisyonu) Hatay'a gelince Türklere "*Kırmızı Kart*" diğerlerine "*Sarı Kart*" dağıttığı, Sarı Kartlıların Türklere her kötülüğü yaptığı, şimdi Kırmızı Kart sahibi Türklerin zaferini görmemek ve misillemeye uğramamak için kaçtıkları cevabı verildi. Gidenler bıraktığı malları ve mülklerini Türklere satmak istemişler ama Türkler satın almamışlardı. Zaten merhametli Türk yönetimini gördükleri zaman birkaç ay sonra tekrar geri gelecekleri tahmin edilmişti (Anadolu, 27 Temmuz 1939).

Çarşı gezisi sırasında rehber bir noktada durup bir köşeyi göstermiş ve "*Şu köşeye usbeciler² makineli tüfek kurmuşlardı. Şu minareden ateş ederek kardeşlerimizi şehit etmişlerdi. Ne idi o kara günler.*" demiştir. Devamında Hatay'ın o günlere ait sıkıntılı günlerin kısa bir özetini, yaşadıkları ölüm tehlikelerini, seçim günlerinde sükûnet ve itidallerini, oy vermek için gelen köylülerden 50 - 60 hatta yüz kişinin Türk evlerinde misafir edilmesini anlatmıştır.

Çarşıda meyve ve meyve bolluğu göze çarpıyordu. Kasaplar kıymayı ve yemeklik eti kemiksiz satıyordu. Bütün kemikler sıyrıldıktan sonra et tartılıyordu. Kuzu eti 45 kuruştı. Dana eti satan kasap ayrı, koyun, kuzu eti satan ayrı dükkânlarda idi. Sömürgeciler iyi asfalt yol ve düzenli telefon sistemi yapmışlar ama ne bir mektep, ne bir park ne de bir hal yapmıştı. Meyveciler, sebzeciler, kasaplar dağınık ve ufak dükkânlarda idi. Oysa İskenderun'da küçük balık ve kasap esnafına ait bir hal vardı (Anadolu, 7 Temmuz 1939).

Tuhafiyeci dükkânları gezildiğinde bütün dükkânların yarı boşalmış bir halde ve olan ürünlerin de Türkiye'den pahalı olduğu görölüyordu. Sebebi sorulduğunda:

"— Burada bir ay evvel manîfatura ve tuhafîye eşyası ucuzdu. Fakat İstanbul'dan, Bursa'dan, Kayseri'den gelip aldılar. Yüz bin liralık, elli bin liralık, bir milyon liralık mal aldılar. Şimdi esnaf gözünü açtı. Onlar da birbirinden alıyor. Fakat ne olur ne olmaz diye malını evinde saklıyor. Onun için biz de şaşıyoruz. Her şey hesapsız olarak fırladı." Cevabı verilmişti.

Bir kaç yerde aynı boy, aynı desen ve aynı mal mendil soran Manisa öğretmenleri farklı fiyatlar gördü. Örneğin, biri on diyorsa, diğeri elli, kırk, otuz kuruş istiyordu. Oysaki aynı mendilin bir ay önceki fiyatı iki kuruştı. Suni ipek bolluğuna rağmen onların da fiyatı farklı farklı olup birbirine uymadığı gibi Türkiye'den pahalı idi. Buna rağmen Hatay hatırası diye bayan öğretmenler eşarp gibi ufak tefek şeyler, erkekler de mendil, çorap, gömlek satın aldı. Esnaf tok satıcı durumundaydı. Senelerce Beyoğlu mağazalarında maktu (sabit) fiyat kullanan, her yerden pahalı satan mağazalar gibi bir tek fiyat söylüyordu. Ama bir adım ilerideki mağazada bu eşya yarı fiyatta olduğu söylenince "*Oraya git*", "*bu mal bir daha gelmeyecek diye hatır için sattıklarını*" belirtiyordu.

Öğle yemeğinin ev sahibinin evinde yenildikten sonra İkinci Okul'a gidildi. Manisa Heyeti öğretmenler Manisa'dan getirdiği çocuk işlerinden oluşan bir sergiyi kurdu ve bu işler hakkında

² Hatay'da Suriye etkisi altında kalan gençler El Ehaül Arabi (Arap Kardeşliği), El'urube (Arapçılık), Usbet-ül Arabül Kavmi (Arap Milliyetçiliği mücahitleri) gibi cemiyetler kurmuştu. Bu cemiyetler, Fransız Manda yönetimi ve Suriye tarafından her yönden desteklenmişti. Usbet-ül Amelil ya da Arab-ül Kavmi, Vatani Partisi taraftarlarına Usbeci ya da Urubacı adı verilmiştir (Birsell-Olcay 2013).

Hataylı meslektaşlara izahat verdi. Görülüyordu ki yıllarca anavatandan ayrı kalan ve her şeyini kaybeden Hatay'da mektepler acınacak haldeydi. Hepsi de derme çatma binalardı. Okuldaki etkinlikten sonra Halkevi'ne gidildi ama kapalıydı. Hatay'ın gazetesi Manisa öğretmenlerinin geldiğini yazmasına rağmen karşılarına ne belediye, ne Halkevi, hiç bir resmi kuruluş çıkmadı. Böyle olunca rehberleriyle çarşıda dolaşmaya devam ettiler. Kendilerini yalnız hissetmek ve Hatay'a kadar geçtikleri yerlerde gördükleri karşılama ve ağırlamayı burada bulamamaktan dolayı üzüldüler. Üstelik geçtikleri şehir ve kasabalarda temas ettikleri insanlar Hatay'a selâm götürme vazifesini vermişlerdi ve şimdi bu selamları kime ileteceklerdi? (Anadolu, 28 Temmuz 1939).

Ziyaret tarihi cumartesi ve pazara denk geldiği için resmi yetkililerle görüşme imkânı bulamadılar. Cevad Açıkalın³ ile Şükrü Kanatlı'yı⁴ aradılar ama bulamadılar. Pazar günü Harbiye⁵ye gidilecek ve orada öğretmenlerle buluşma olacaktı. Bu da onlar için bir teselli oldu. Hiç olmazsa Manisa'dan buraya göz aydına gelmişken, bunu olsun söyleyecek bir yer bulacaklardı. Şehri gezmeye devam ederken rehberleri Latif Bey anlatmaya devam ediyor: “*Şu bina usbecilerin, burası Ermenilerin merkezi idi. Şimdi inhisarlar idaresi, emniyet dairesi vesaire gibi bu yerleri hep resmî binalar yaptırdık*”.

Asi nehrini seyretmek için nehir kenarındaki merkez gazinosuna götürüldüler. Burada kendilerine göre bir gece yaşadılar. Gazino sahibi Manisa öğretmenlerine, “*Hoş geldiniz*”, dedikten sonra şu sözleri söylemişti: “*Ben kunduracıyım, ortağım da. Burada bize intihap esnasında çok kurşun sıkıldı. Ahdetmiştik, işte bunun üzerine burada bu gazinoyu açtık. Burası Türklük aleyhtarlarının merkezi olduğu zamanlar kâfi derecede tanınmıştı. Bugün de biz onu Türklük merkezi, Türk sevenlerin yeri yapmakla zevk duyuyoruz.*” Hatay'da ilk gün bu şekilde

³ Asıl adı “Muhiddin Mehmet” olan Açıkalın, 1899'da İstanbul'da doğdu. İsviçre'de hukuk diploması aldı. 1 Mart-30 Ekim 1922 tarihleri arasında Cenevre Başkonsolosluğu kâtipliği görevini yürüttü. Lozan görüşmelerinde, Ekonomi-Finans Komitesinde Türk delegasyonunun sekreterliği görevini yaptı. Lozan'dan sonra, Hariciye Vekâletinde hukuk danışmanlığı, Varşova Elçiliği ikinci kâtipliği, Ankara'da hukuk müşaviri, Prag, Belgrad Elçiliği başkâtipliği, Tahran ikinci sınıf müsteşarı, Moskova'da orta elçilik müsteşarlığı, Dışişleri Bakanlığı Genel Sekreterlik Özel Kalem Müdürlüğü, Dışişleri Bakanlığı Hukuk Müşavirliği, Montrö Boğazlar Konferansı'nda Türk delegasyonu genel sekreteri, Dışişleri Bakanlığı Birinci Daire Reisliği, Hatay meselesinde Orta Elçilik görevi yaptı. Türkiye, seçim işlerini yürütmek üzere, Atatürk'ün direktifiyle Cevat Açıkalın'ı “Hatay Fevkalade Murahhası” olarak görevlendirdi. Hatay Devleti'nin son bulmasıyla Hatay Cumhurbaşkanlığının tüm yetkileri, Fevkalade Murahhas Cevat Açıkalın'a devredildi. Bu görevi, Türkiye Cumhuriyeti tarafından Hatay Valisi olarak ataması yapılan Şükrü Sökmensüer'e devretmesiyle sona erdi. 22 Temmuz 1939'da Ankara'ya, eski görevine döndü. (As 2020). Ardından, Moskova, Londra, Roma Büyükelçisi, Genel Sekreter, Cumhuriyet Senatosu Cumhurbaşkanınca Seçilen Üye (26.10.1961–02.06.1968) görevlerinde bulundu. 24.05.1970'te vefat etti (TBMM Basın ve Halkla İlişkiler Müdürlüğü 2010).

⁴ Şükrü Kanatlı : (D.1892, İstanbul – Ö. 15 Ocak 1954, Ankara). Harp Okulu'nu 1912 yılında piyade teğmen olarak bitirdi. 11. Tümen 31. Alay'da bölük takım komutanlığına atandı. Bu görevde iken Balkan Savaşı sırasında (Şubat 1912) esir düştü ve esareti Ekim 1913 tarihine kadar Korfu Adası'nda sürdü. Esareten kurtulduktan sonra takım komutanlığı, yaverlik ve bölük komutanlığı yaptı. I. Dünya Savaşı ile Kurtuluş Savaşı'na katıldı. 1926 yılında Harp Akademisi'ni bitirerek kurmay subay oldu. 1941 yılına kadar çeşitli karargâh ve birliklerde görev yaptı. 1941 yılında tuğgeneral, 1943'te tümgeneral, 1946'da korgeneral ve 1950'de orgeneralliğe yükseldi. Orgeneral rütbesinde 1. Ordu Komutanı (1950-1951) iken 28 Aralık 1951'de Kara Kuvvetleri Komutanlığına (1951-54) atandı. Bu görevde iken 15 Ocak 1954 günü vefat etti <https://www.biyografya.com/tr/biographies/sukru-kanatli-b543d995>. (Erişim Tarihi: 05.02.2026) 3 Temmuz 1938'de Türk-Fransız Askeri anlaşmasının imzalanmasından sonra 4 Temmuzda öncü birlikler, 5 Temmuz'da da Kurmay Albay Şükrü Kanatlı komutasındaki asıl birlikler Payas ve Hassa'dan sınırı geçerek Hatay'a girmişti (As 2020).

⁵ Hatay'ın çağlayanlar bölgesi olan Harbiye, Antakya'ya 6 km uzaklıktadır. <https://www.hatay.gov.tr/harbiye-daphne-selalesi> (Erişim Tarihi: 05.02.2026).

geçti. Akşam meslektaşlarıyla bir toplantı yapmak istediler ama “Gece toplanamayız, gündüz ancak Harbiye’de görüşürüz” dediler.

Pazar günü neredeyse her taraf kapalıydı. Sadece bir kaç Ermeni ve Rum’un dükkânı açıktı. Açık dükkânlardan kuyumcu olanı hayli işlekti. Manisa öğretmenlerinden bazıları yüz liradan fazla harcayarak bir kaç altın bilezik, gümüş iğne vesaire aldı. Türkiye’nin her yerinden burayı ziyaret edenler Hatay kuyumcularının bilhassa gümüş üzerinde ince ve zarif işçilik hünerlerinden birer hatıra alıyormuş. Bazı evlerde Türk bayrakları asılı olmasının sebebi sorulduğunda, “bu, ‘gâvur Antakya, Arap Antakya’ hayallerinin sinerek Türk Antakya’ya kalbolduğunu içinden dışına kadar göstermek isteyenlerin günleridir. Zapt edemedikleri taşkın sevinçlerini duyurmak, belirtmek içindir” cevabı verildi (Anadolu, 28 Temmuz 1939).

Avni Altın’er, bekledikleri alakayı görmemelerine bir yandan da şöyle hak vermektedir: “İnsan saadetin son şahikasına yükselince elbette ne yapacağını şaşırır... Buradakiler de böyle değiller mi? Türk idaresine, Türk bayrağına kavuşmak ve yurduna katılmak saadetlerin en büyüğü olduğuna göre, sevincinden çıldıran Hatay kendisine göz aydına gelenleri göremezse bunda mahzur yoktur.”

Hatay’da ilk hatıra gelecek Harbiye idi. Manisa öğretmenler heyeti, yanlarında belediye müfettişi olduğu halde fiyat yüzünden zar zor temin ettikleri otobüslerle buraya geldiler. Tabiat buraya cömert davranmış ve bütün güzelliği vermişti. Altın’er, “Dünyada üç ses güzeldir, derler. Su sesi, kız sesi, para sesi... Su sesini duymak isteyenler Antakya’nın Harbiye’sine gelsinler.” Demekten kendini alamamıştı.

Her tarafta karpuzlar, erikler ve şeftaliler vardı. Ufak çocukların ellerinden kargı denilen sazlardan yapılmış deste deste düdüklere vardı. Öğretmenler, birer tane aldı ve öttüre öttüre ilerleyip asırlık ağaçların altındaki boş sandalyelere oturdular. Her tarafta kaval sesi işitiliyordu. Herkes alsın diye olacak kavalların fiyatı bir kuruştı. Şelalenin karşısında şeftali ve erik yediler. Lâtif Bey, daha güzel yerlerin de olduğunu söyleyince koyu bir yeşillik içine doğru 100 m. kadar daha indiler. Önceki şelâleden daha kayda bir değer şelaleye geldiler. Gördükleri manzara önceki şelaleyi ve hayatlarında gördükleri bütün şelâleleri bastırdı. Üstünü büyük çınar ağaçlarının kapattığı, on beş yirmi şelalenin sesi gerçekten görülmeye değerdi. Öğretmen ve Hatay Millet Meclisi’nin Kâtibi Umumisi Remzi, içi ciğer ve pirinç, dışı köfte olan Hatay yemeğinden ikram etti. Köfteli dolmaya benzeyen bu yemeğin tadı damaklarında kaldı. Hatay öğretmenleri öğle yemeğinde de beraber olmak istediler fakat Manisa heyetinin İskenderun’u da görmek düşüncesi buna engel oldu. Harbiye’den sonra Antakya’yı bir daha dolaştılar. Bir sucu dükkânına girip birer karlı su içtiler. Şehrin suyunun Harbiye Zuheybe’den, Çukurbahçe’den geldiğini öğrendiler. Harbiye’den başka mesire yerleri de vardı ama görmeleri nasip olmadı (Anadolu, 29 Temmuz 1939).

Antakya’da dördü büyük olmak üzere sekiz cami, Asi nehri üzerinde 4 köprü, bir ilk mektep binası, erkek ve kız liseleri, ayrıca sörler (rahibe), frerler (rahip) mektepleri vardı. İlkokul öğretmeni sayısı kırk beşti. Manisa öğretmenlerinin ziyaret günleri cumartesi ve pazara rastladığı için bilgi verecek yerler de kapalı olduğundan şehir hakkında daha fazla bilgi edinilemedi. Antakya’da, Gündüz ve Halk adı ile iki sineması, her gün çıkan bir de gazetesi vardı. Antakyalılar Türk uçaklarının Hatay semalarında görünmesini istiyorlardı. Birisi şunu söylemişti:

“— Ah o kadar gözlüyoruz, bizim tayyareler gelmiyorlar. Şimdi bir motor gürültüsü duysam, hemen fırlıyorum, fırlıyoruz. Ah şöyle ay yıldız taşıyan bir filomuzu görsek. İnanın ki bütün Antakyalıların bugün için arzusu Türk tayyaresi görmektir.” (Anadolu, 30 Temmuz 1939).

2.3. İskenderun'da

Gelirken iyice göremedikleri İskenderun'a doğru gece geçtikleri yoldan gündüz yola çıktılar. Bazı öğretmenler Antakya'dan ayrılırken şehrin kenarındaki müzeye de uğradılar. Anlattığına göre müzede çok güzel ve tetkike değer çinilerle işlemler vardı ve Antakya tarihine ait birçok eserler Avrupalılar tarafından zaman zaman çalınarak götürüldüğünden şimdi müzede bunların döküntüleri bulunuyordu. Antakya geride kalırken uzun müddet o manzaranın yerini Amuk (Amik) Gölü aldı. Yolda aldıkları fındıklar çok kalın kabuklu idi ve belki hüdayinabit (kendi kendine yetişen) idi. Biraz gidildikten sonra bir anıt ve eski harflerle yazılı bir kitabe gördüler. Burası Birinci Dünya Savaşında görev yapan 41. Fırka şehitlerinin anıtı yeri⁶ idi.

Bir müddet sonra deniz ve denizin kenarına uzanan İskenderun görüldü. Burada oldukça iyi binalar vardı. Mamur ve zengin bir memleket görüntüsü veriyordu. Deniz kenarında durdular ve eşyalarını bir otelin odasına yığdılar. Sonra plaja gittiler. Çünkü Antakya'da iken “İskenderun plâjından istifade edin” denmişti.

Plajın kalabalık olmasını beklerken çok tenha buldular. Deniz çarşaf gibi sakindi. Deniz suyu sıcak olduğu için sanki bir ılıca gölüne girmiş gibi hissettiriyordu. Sonra, şehri gezmeye çıktılar. Sebzeçiler ve meyvecilere rastladılar. Sıralı dükkânlar kapalıydı. Bir kaç Rum terzinin dükkânı açıktı. Balıkçı ve kasaplara mahsus küçük bir hal vardı. Her evde bir ağaç veya her evin balkonundan sokağa sarkan yeşillik ve çiçek kasabanın göze çarpan özellikleriydi. O mevsimde hava serin idi. Her şey aynı, sokaklar ıssız ve tenha; caddeler biraz işlek. Yalnız herkesin gözüne çarpan ve birçok kaza ve vilâyetlerde bulunmayan mükemmel ve heybetli bir postane binası vardı. İçeri girip hatıra olmak üzere Hatay posta pulu almak istediler ama memur olmadığı için alamadılar. Bu yüzden, Manisa'da kendilerinden hatıra pulu isteyenlerin talebini yerine getiremediler (Anadolu, 30 Temmuz 1939).

Ardından sahil boyundaki gazinolara uğradılar ve bunlardan Marmara gazinosuna girdiler. Yemek listesini istediler. Garson Arap harfleriyle bir liste getirdi. Liste Arapça olduğu için bir şey anlamadılar. Garsonu çağırıp, niye Türkçe bir liste getirmediğini sorduklarında “— *Efendim daha 23 Temmuz⁷ gelmedi o zamana kadar vakit var.*” Cevabını aldılar. Türkçe bir yemek listesi istediler ve geldi. Yemekten sonra tekrar sahile gittiler. İskenderun'da Arapça konuşanların sayısının Antakya'dan fazla olduğunu teşhis ettiler. Gecenin geç vaktine kadar sahil kahvelerinde çene çaldılar. Rehber Lâtif, onlara Antakya hatıralarını anlattı. Ev sahibi olarak bütün Antakya adına tek kişi olarak Payas'a kadar Manisa öğretmenlerini uğurlayacak ve “*sarhoş tren*”le dönecekti. Payas'tan İskenderun'a geç gelen muntazam ve saatinde hareket etmeyen trene halk bu ismi vermişti. Gelişte 19 kuruş olan bilet ücreti yerine 31 kuruş ödediler. Tren ücreti geliş ücreti ucuz, dönüş ücreti pahalı olan İskenderun'dan ayrılıp Payas'a vardılar. Burada Latif Bey kendilerini uğurladı ve geriye döndü. Biraz bekledikten sonra Toprakkale trenine bindiler. Bütün gece yolda geçti. Sabah erken Adana'dan geçtiler (Anadolu, 1 Ağustos 1939).

Hatay'dan kalan intibalardan biri de “Gümrük korkusu” adını verdikleri konu idi. Antakya'dan ayrılmadan önce Lâtif Beyin evinde öğle yemeği sırasında, içeriye bir adam girmiş ve öğretmenlere Hatay'da satın aldıkları malları geçiremeyeceklerini söylemişti. Öğretmenler satın aldıkları hediyelikleri Hatay'dan çıkaramayacakları korkusuna kapıldılar ve Payas'a kadar

⁶ Anıt, Belen Muhlisali Mahallesi Kurtuluş Caddesi üzerinde bulunmaktadır. İlk olarak 41. Fırka Komutanı Yarbay Musa Kazım Bey tarafından 1916 yılında yaptırılmıştır. O tarihteki abidenin kitabesi Hatay Devleti'nin kurulmasından sonra yeniden yazdırılmıştır. (<https://www.iskenderunhaber.com/2018/02/03/41-firka-sehitler-abidesi-restorasyon-calismalari-basliyor/> Erişim Tarihi: 02.02.2026)

⁷ Hatay'da son Fransız birliğinin bayrağını indirip yerine Türk Bayrağının çekileceği tarihi.

bu endişeyi taşıdılar. Payas'ta Lâtif Bey, bu bilginin doğru olmadığını ve kendilerine şaka yapıldığını söyleyince rahatladılar (Anadolu, 9 Ağustos 1939). Konya, Afyon, Alaşehir üzerinden Manisa'ya vardılar.

3. SONUÇ

1938'de Hatay'ın bağımsız olmasıyla Türkiye'nin çeşitli yerlerinden buraya ziyaretler yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu ziyaretlerden birisini de Manisa öğretmenleri yapmıştır. 15 günlük yolculuğun iki gününü Hatay'da geçirdiler. Gözlemler yapıp hediyelik eşya satın aldılar. Hatay'ın Türkiye'ye katılım sürecinde Hataylıların heyecanına ve sevinçlerine yerinde şahit oldular. Hatay'ın bağımsız olduktan sonra Ermeni ve Rumlardan bazılarının Müslümanlara zulmettiklerinden dolayı Hatay'dan kaçtıkları ve bu yüzden dükkânlarının kapalı olduğu, Arap cemiyetlerin geçmişte Türklere nasıl terör estirdikleri, İskenderun, dönemin çarşı pazar durumu, fiyatlar, meşhur mesire yeri Harbiye hakkında bilgilere rastlamaktayız.

Gezi programı, Hatay'da cumartesi ve pazar gününe denk gelmesinden dolayı resmi makamlardan malumat alma şansına sahip olamadılar. Diğer yerlerde gördükleri ve Hatay'da da umdukları karşılama ve ilgiyi göremedikleri için hayal kırıklığı yaşadıkları görülmektedir. Bu durumun, gezinin tek olumsuz tarafını oluşturduğu söylenebilir. Yine de Hatay'ın Anavatana katılması gibi büyük bir mutluluk yaşanırken bunu mazur görmeyi tercih ettiler. Hatay'a ait gezi notlarının dönemin manzarasını yansıtmaları açısından kayda değer tanıklık içerdiğini belirtmek gerekir. İki günlük kısa süreli bu gezide gözleme dayalı olarak verilen bilgilerin yerel ve dönemsel açıdan kıymetli olduğu kanaatindeyiz.

4. KAYNAKÇA

Akşin Aptülâhat. Atatürk'ün Dış Politika İlkeleri ve Diplomasisi. (1991). Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Anadolu.

Armaoğlu Fahir. 20. Yüzyıl Siyasi Tarihi 1914–1980. (1988). Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.

As Efdal. (2020). Hatay Fevkalade Murahhası Cevat Açıkalın'ın Gözüyle Hatay Devleti'nin Kuruluş Süreci Ve Dönemin Diğer Gelişmeleri. Anavatana Katılımının 80. Yılında Hatay Uluslararası Sempozyumu: Bildiriler, 371-409.

Birsel Haktan, Olcay Özkaya Duman. (2013). Entellektüel Bir Kadro Hareketi Olarak Halkevi Dergisi Hatay. Turkish Studies Volume 8(2), 47-58.

Düstur. (1929). 2. Tertip. Cilt:2. Milliyet Matbaası.

Düstur. (1931). 3. Tertip. Cilt:5. Necmi İstikbal Matbaası.

Gönlübol Mehmet, Cem Sar. Atatürk ve Türkiye'nin Dış Politikası (1919-1938). (1997). Atatürk Araştırma Merkezi.

<https://hatay.gov.tr/tarihsel-surec-icinde-hatayda-kultur-ve-uygarlik> (Erişim Tarihi: 03.02.2026)

<https://www.biyografya.com/tr/biographies/sukru-kanatli-b543d995>. (Erişim Tarihi: 05.02.2026)

<https://www.hatay.gov.tr/harbiye-daphne-selalesi> (Erişim Tarihi: 05.02.2026)

<https://www.iskenderunhaber.com/2018/02/03/41-firka-sehitler-abidesi-restorasyon-calismalari-basliyor/> (Erişim Tarihi: 02.02.2026)

Sahillioğlu Halil. (1991). Antakya. TDV İslam Ansiklopedisi. C.3. 228-232.

Sarınay Yusuf. (1996). Atatürk'ün Hatay Politikası -I- (1936 -1938). Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi 12 (34), 3-65.

- Sarınay Yusuf. (1996). Atatürk'ün Hatay Politikası -II- (1938 -1939). Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi 12(35), 407-454.
- T.C. Genelkurmay Başkanlığı. Türk İstiklal Harbi IV. Cilt Güney Cephesi. (2009). Genelkurmay Basım Evi.
- T.C. Genelkurmay Başkanlığı. Türk İstiklal Harbi I Mondros Mütarekesi ve Tatbikatı. (1999). Genelkurmay Basım Evi.
- TBMM Basın ve Halkla İlişkiler Müdürlüğü. TBMM Albümü 1960-1983. (2010). 4. Cilt, TBMM Basın ve Halkla İlişkiler Müdürlüğü Yayınları.
- Yamaç Müzehher. (2023). Atatürk Döneminin Son Kazanımı İskenderun Sancağı- Hatay. Akademik Bakış Cilt 17 Sayı:33, 21-44.

MANİSA ÖĞRETMENLERİNİN KONYA İZLENİMLERİ (TEMMUZ 1939)**Prof. Dr. İsmet ÜZEN**Kilis 7 Aralık University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of History,
79100, Kilis**ORCID ID:** 0000-0002-6605-7267**ÖZET**

1936'dan başlayarak Hatay konusu hem Türkiye Cumhuriyetinin hem de halkının gündemini meşgul etti. Sonunda Hatay bağımsız bir devlet oldu. Manisa öğretmenlerinden bir grup burayı görmek için 15 günlük bir gezi programı hazırladı. Hazırlanan seyahat programına göre, 5 Temmuz 1939 Çarşamba günü yola çıkılacak, Balıkesir'de bir gün kalınacak, Kütahya, Eskişehir üzerinden Ankara'ya varılacak, Ankara'da iki gün kalınacak buradan Kayseri, Adana, İskenderun üzerinden Hatay'a varılacaktı. Hatay'da iki gün kalınacaktı. Dönüş güzergâhı Mersin, Konya ve Afyon üzerinden 20 Temmuzda Manisa'ya varılacak şekilde planlandı. 33 kişiden oluşan kabile trenle İskenderun'a, oradan da karayoluyla Hatay'a vardı. Burada iki gün geçirdiler. Hatay gezisini tamamlayıp dönüş yolunda Konya'da misafir oldular. Kalabalık bir öğretmen grubu tarafından karşılandılar. Konaklama süresince çok güzel ağırlandılar. İlk gece Konya Halkevi'nde müzik, eğlence, dans ve ziyafet ile geçti. Ertesi gün Konya'nın genel durumu ve eğitim hakkında vaziyeti gibi mesleki konularda bilgi aldılar. Konya'nın görülmeye değer mimari eserlerini; Dursun Fakih Türbesi, Sırçalı Medrese, Sahip ata Camii, İnce Minareli Medrese, Mevlana Müzesi, Alâeddin Tepesi gibi yerleri ziyaret ettiler ve bunlar hakkında bilgi aldılar. Bunun yanında Gazi İlkokulu ve İsmetpaşa okulunu ziyaret edip adı geçen okulları incelediler. Gezi sırasında unutamayacakları bir misafirperverlik, izzet, ikram ve yakınlık gördüler. Seyahate dair bilgiler, geziye katılan Avni Altınar tarafından kaleme alındı ve bunlar "Anadolu" gazetesinde yayınlandı. Bu çalışmada, "Anadolu" gazetesinde yayınlanan bilgilerden yararlanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Manisa öğretmenleri, Konya, Konya gezisi izlenimleri

IMPRESSIONS OF KONYA BY TEACHERS FROM MANISA (JULY 1939)**ABSTRACT**

Hatay Starting in 1936, the issue of Hatay occupied the agenda of both the Republic of Türkiye and its people. Eventually, Hatay became an independent state. A group of teachers from Manisa organized a 15-day trip to visit the region. According to the planned trip program, the journey was to begin on Wednesday, July 5, 1939; a day was to be spent in Balıkesir; Ankara was to be reached via Kütahya and Eskişehir, with a two-day stay there; and from there, the route would proceed to Hatay via Kayseri, Adana, and İskenderun. They were going to stay in Hatay for two days. The return route was planned to pass through Mersin, Konya, and Afyon, with arrival in Manisa scheduled for July 20. The group of 33 people arrived in İskenderun by train and then traveled to Hatay by road. They spent two days here. After completing their trip to Hatay, they stayed as guests in Konya on their way back. They were welcomed by a large group of teachers. They were hosted wonderfully throughout their stay. The first night at the Konya People's House was spent with music, entertainment, dancing, and a feast. The next day,

they received information on professional matters, such as the general situation in Konya and the state of education there. They visited architectural landmarks in Konya — such as the Dursun Fakih Tomb, Sırçalı Madrasa, Sahip Ata Mosque, Ince Minareli Madrasa, Mevlana Museum, and Alaeddin Hill — and learned about them. In addition, they visited Gazi Primary School and İsmetpaşa School and inspected the schools in question. During the trip, they experienced unforgettable hospitality, generosity, and warmth. Information regarding the journey was penned by Avni Altınar, a participant in the trip, and published in the “Anadolu” newspaper. This study draws upon information published in the “Anadolu” newspaper.

Keywords: Manisa teachers, Konya, Impressions of the Konya Trip

1. GİRİŞ

Birinci Dünya Savaşı sonunda imzalanan Mondros Ateşkes Anlaşmasının ardında İskenderun 9 Kasım 1918’de başlangıçta 15 kişilik bir İngiliz müfrezesi tarafından işgal edildi (T.C. Genelkurmay Başkanlığı 1999; T.C. Genelkurmay Başkanlığı 2009). Birinci Dünya Savaşı sonunda toplanan Paris Barış Konferansında İngiltere ve Fransa, işgalleri altındaki Ortadoğu coğrafyasında manda rejimleri kurmaya karar verdi. Nisan 1920 toplanan San Remo Konferansı’nda İngiltere ve Fransa, Ortadoğu’yu aralarında paylaştı. Suriye ve Lübnan Fransız, Irak, Ürdün ve Filistin İngiliz mandasına verildi (Armaoğlu 1988).

Milli Mücadelede döneminde Sakarya Zaferinin ardından, TBMM Hükümeti ile Fransa arasında 20 Ekim 1921’de imzalanan Ankara Antlaşması ile İskenderun Sancağı için özel yönetim tarzı kabul edildi (Düstur 1929). Milli Mücadele’nin zaferle sonuçlanmasının ardından kabul edilen Lozan Barış Anlaşmasının 3. Maddesinde 20 Ekim 1921’de imzalanan Ankara Antlaşmasının Suriye sınırını oluşturduğu kabul edildi (Düstur 1931).

Suriye üzerinde manda yönetiminin kaldırılması ve Suriye’ye bağımsızlık verilmesi konusunda Fransa ve Suriye arasında 9 Eylül 1936’da bir anlaşma yapıldı. Ekim 1936’dan başlayarak, Türkiye ve Fransa arasında İskenderun Sancağı’nın statüsü sorunu süreci başladı. Taraflar arasındaki sorun sonunda Milletler Cemiyeti’ne götürüldü. Bu süreçte Türkiye ve Fransa’nın prensipte anlamaya vardı ve Milletler Cemiyeti 27 Ocak 1937’de prensip anlaşmasını kabul etti. Buna göre, İskenderun ve Hatay özel bir statüsü ve anayasası, içişlerinde tam bağımsız, Suriye ile gümrük birliğine sahip “ayrı bir varlık” olacaktı. Ocak 1938’de Sancak’ta uygulanacak seçim sistemi üzerinde uzlaşıldı. Ağustos 1938’de 40 kişiden oluşacak Sancak Meclisi için seçimler yapıldı. Seçim sonunda oluşan Hatay Meclisi, Sancak’a Hatay Devleti adını verdi. Hatay Devleti yaklaşık bir yıl kadar bağımsız kaldı. 29 Haziran 1939’da Türkiye’ye katılmaya karar verdi ve Türkiye’nin bir vilayeti oldu Gönübol-Sar 1997; Akşin 1991; Sarıay 1996; Sarıay 1996). 23 Temmuz 1939’da yapılan törende, Fransız birliği Antakya kışlasındaki Fransız bayrağını indirerek Sancak’tan ayrıldı ve yerine Türk bayrağı çekildi (Yamaç 2023).

1936’dan itibaren Fransa’nın Suriye ile ilgili kararı Türkiye’yi de yakından ilgilendirmiştir. Hatay sorunu aynı zamanda Türkiye kamuoyunun da ilgi odağı olmuş ve Hatay’ın Türkiye’ye katılması konusundaki gelişmeleri yakından takip etmiştir. Manisa’da görev yapan öğretmenler Hatay’ın Türkiye Cumhuriyeti’ne katılması sürecinde Manisa’ya bir seyahat yapma kararı vermiştir. Avni Altınar tarafından kaleme alınan ve 23 sayıdan oluşan seyahat notları tefrika halinde Anadolu gazetesinde 11 Temmuz-10 Ağustos 1939 tarihleri arasında yayınlanmıştır. Bu notlar, Manisa’dan Hatay’a uzanan gidiş ve dönüş intibalarını ele alan bir yazı dizisidir. O dönemde, Manisa’da görev yapan 460 öğretmenden 33 kişi bu seyahate katılmıştır (Anadolu, 11 Temmuz 1939).

Hatay'a seyahat fikri şöyle doğmuştu: Temmuz 1939'da sınavlar arası bir dönemde Manisa Maarif Müdürlüğünde mesleki neşriyat için bir toplantı yapılıyordu. Manisa Kültür Direktörü (Müdürü) Rauf İnan Hatay'dan bir öğretmen arkadaşının gönderdiği ve Hatay'daki 23 Nisan kutlamalarına ait bazı fotoğrafları hazır bulunanlara göstermişti. Rauf İnan, Balıkesir'e yapılması planlanan gezinin Hatay'a kadar uzatılmasını teklif edince hazır bulunanlar oybirliği ile bunu kabul etmiştir. Devamında gezinin en ucuz yol masrafları tetkik edilmiş ve gidiş dönüş tüm yol masrafının 17,5 lirasının üçüncü mevki tren bileti, kalanının yemek ve yatacak olmak üzere 30 lira olacağı sonucuna varılmıştır. Hazırlanan seyahat programına göre, 5 Temmuz 1939 Çarşamba günü yola çıkılacak, Balıkesir'de bir gün kalınacak, Kütahya, Eskişehir üzerinden Ankara'ya varılacak, Ankara'da iki gün kalınacak buradan Kayseri, Adana, İskenderun üzerinden Hatay'a varılacaktı. Hatay'da iki gün kalınacaktı. Dönüş güzergâhı Adana, Konya ve Afyon üzerinden 20 Temmuzda Manisa'ya varılacak şekilde planlanmıştı. Akşam tren istasyonunda toplanıp yola çıkılmıştır (Anadolu, 11 Temmuz 1939).

Hatay'a kadar olan vilayetlerde karşılaşmaları, şehrin genel görünüşü, şehre ait okul, öğretmen öğrenci sayıları, yayınlanan gazete isimleri, izzet ve ikramlar vs. hakkında bilgilere rastlanmaktadır. Manisa'dan hareket eden heyet, Balıkesir, Kütahya, Eskişehir, Ankara, Kayseri, Adana, Toprakkale, Payas, İskenderun üzerinden Hatay'a vardı. İki günü Hatay'da geçirdi. Bu çalışmada Avni Altın'ın notlarından heyetin dönüş yolunda Konya'ya ait gözlemlerine yer verilecektir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Konya'ya Varış

Manisa öğretmen heyeti, Hatay'dan sonra İskenderun'a ve oradan Payas'a geldi. Burada Adana yönüne gidecek trene bindiler ve bütün gece yolda geçti. Sabah erken Adana'dan geçtiler. Yolda çok büyük tüneller vardı. Tren, Konya Ereğli'sinde durdu. Burada tenekelerle kızarmış kelle satılıyordu ve her istasyonda fiyatı on beş kuruş iken burada yirmi beş kuruştı. Buranın rakımı 1054 m. olduğu için hava da oldukça serindi. Meyve, zerdali ve salatalık boldu. Trenin burada hayatı canlandırdığı ve bir hareketlilik getirdiği görülüyordu. İstasyonlarda çok sayıda satıcı vardı ve bu satıcı bolluğunda fiyatlar da o kadar oransızdı. Örneğin, birisi zerdalinin kilosunu beş kuruşa satarken diğeri yirmi kuruşa satmaya çalışıyordu. Adana'da, Antakya'da, İskenderun'daki kilo ile karpuz satma usulü burada da vardı ve kilosu dört kuruştı. Kilosu on beş kuruşa satılan kiraz büyüklüğünde vişneler vardı. İzmir'de bile bu lezzette ve büyüklükte böyle kiraza benzer vişneye rastlamak imkânı yoktu (Anadolu, 1 Ağustos 1939).

Konya Ereğli'sinden sonra bozkır kendini hissettirmeye başladı. Ankara bozkırından farklı olarak burada ara sıra yeşil ağaçlar vardı. Güneş batarken Konya'ya vardılar. Burada kendilerini daha önceki yerlerden daha kalabalık bir grup karşıladı. Manisa öğretmenleri ile Konya öğretmenlerinin çok samimi bir karşılaşması oldu. Neredeyse 24 saati trende geçiren Manisa öğretmen heyeti istasyonda güler yüzlü Konya öğretmenlerini görünce, bütün yorgunluğunu unuttur gibi oldu. Aynı okuldan mezun olanlar birbirini görünce kucaklaştı. Bütün kafiye kırk yıllık ahabmış gibi Konya öğretmenleriyle kaynaştı. Hazırlanan otobüslere bindiler. Program mucibince bayanlar Kız Lisesi'ne, erkekler de Sanat Okulu'na misafir edildiler. Yalnız bu kez seyahatte Manisa Kültür Direktörü Rauf İnan yoktu. Konya Maarif Müdürü Halid Ziya da yazdığı mektupta; hazır bulunamayacağı için üzüldüğünü bildiriyordu. Sanat Okulu'nda verilen akşam yemeğini yendi. Çok samimi bir hava içinde geçen bu yemekten sonra topluca Konya Halkevi'ne gidildi. Burada kendilerini mükemmel bir caz ve mükemmel bir salon bekliyordu. Konya Halkevinde öğretmenlerden başka Halkevinin önde gelen diğer üyeleri de bulunuyordu. Kısa bir beklemeden sonra Halkevi'nin hazırladığı programın uygulanmasına geçildi. Manisa

heyetine, Halkevi'ne ve Konya'ya geldikleri için “hoş geldiniz” dendi ve onlarda cevap verdi (Anadolu, 1 Ağustos 1939).

İstiklâl Marşı'ndan sonra, Konya musiki öğretmeni Arif Şahap'ın yönetimindeki 12 kişilik bir koro heyeti sahneye geldi. Arif Şahap, asıl koro heyetinin bir kısmının tatilde olduğunu ve onların yerini Halkevi musiki kurslarından yetişenlerin aldığını söyledikten sonra 12 mandolin ruhlara hitap eden parçaları çalmaya başladı. Devamında, yine Arif Şahap ile öğretmen Bayan Muzaffer kemanla klâsik parçalar çaldı. Arif Şahap'ın küçük kızı da kemanla “*Mavi Tuna*”⁸ ve Şopen'den “*Manan Gorya*”⁹ ve bir başka marşı çaldı. Bu musiki ziyafetinden sonra Müfettiş Talât bir bilmece ortaya attı. Herkes bilmecenin cevabını düşünürken Öğretmen İbrahim, köylü şivesiyle ağlayarak “*Balabuk ninenin oğluna tahassür ve tahatturatını*” anlatan bir ağıt söyledi. Ardından “*Eminem*” türküsünü hem söyledi hem de oynadı. Manisa heyetinden Nazmiye “*Allah Tango*”¹⁰ söyledikten sonra heyetten Cemal söz alarak Müfettiş Talât'ın söylediği zorlu bilmecenin cevabını verdi ve mükâfatını istedi. Bunun üzerine Talat bütün heyetin mükâfatı hak ettiğini söyleyerek diğer bir salona davet etti (Anadolu, 1 Ağustos 1939). Salondaki uzun bir masada envai çeşit meyve, sarı zerdali, karpuz vardı. Masada içki yoktu. Avni Altınar'e göre, düğünlerde ve balolarda içkinin yerini böylesi meyve ziyafeti almalıydı. Konya öğretmenlerinin bu gecesi ve meyve ziyafeti alkışlanacak kadar kıymetliydi. Meyve ziyafetinden sonra Nazmiye'ye “*Allah*” diyen şarkısı tekrar ettirildi. Talât da kemaniyla refakat etti. Bayan Muzaffer, ortaya bir bilmece attı. Kimse çözemeyince kendisi izah etti ki sabaha kadar uğraşılsaydı çözülemezdi. Bilmece şöyle idi: “*İki bacak dört bacağın üstüne oturdu. Bir bacak onun üstüne kondu. Dört bacak geldi bir bacağı götürdü. İki bacak kalktı dört bacağı attı bir bacağı kurtardı.*” Cevabı da şu idi: “*Bir adam bir sandalyeye oturdu kucağında bir but vardı. Bir köpek geldi, bu butu aldı, adam kalktı, sandalyeyi attı ve butu köpeğin ağzından aldı.*” Ardından sıra dansa geldi. Vakit de gece yarısı olmuştu ama kimsenin ayrılmaya niyeti yoktu. Gece milli oyunlarla devam etti. Manisa ve Konya öğretmenleri yerel oyunları oynadılar. Gece saat bire geldiği halde müşterek bahis at yarışları salon oyunu yapıldı. Yarışta, Enver'in iki numaralı atı birinciliği kazandı. Ardından uyumak için çekildiler (Anadolu, 2 Ağustos 1939).

Sabah saat yedide bahçede çalan bandonun sesiyle uyandılar. Saat dokuz buçuk olmasına rağmen bayan arkadaşları Kız Lisesi'nden gelmemişti. Saat sekizde yapılması planlanan kahvaltıyı on buçukta yapabildiler. Konyalıların verdiği bu kahvaltı da çok güzeldi. Manisa öğretmenleri aralarından bir grubu vali, belediye, Korkomutan (Korgeneral) ve Halkevini ziyarete gönderdiler. Bir kısmı da çarşıda bir gezi yaptı. Diğerleri de okulun bahçesinde kanepelerde Konya'daki meslektaşlarla sohbet etti. Bando da ara sıra bazı parçalar çalıyordu. Sohbet konuları doğal olarak okul ve maaş gibi mesleki alanlarda oldu. Konya öğretmenleri 1932 yılına ait mesken bedellerini toptan sekizer lira hesabıyla aldıkları gibi geçen senenin verilemeyen kısmını da hem de yedişer liradan topyekûn almışlar, bu suretle ellerine toplu bir para geçmiş, içinde bulundukları yılını de yedişer liradan alıyorlarmış. Manisa öğretmenleri 1932 yılı mesken bedellerini alamadıkları için Konya'da görev yapan meslektaşlarına gıpta etmişlerdir. Üstelik önceki seneden kalan altı aylık hem de beş liradan olan mesken bedelleri tutarı olan 30 lirayı alabilselerdi birer kat elbise sahibi olmak, 1932'deki alacakları da toptan

⁸ Mavi Tuna veya Güzel Mavi Tuna Opera no.314, Avusturyalı besteci Johann Strauss II'nin 1866 yılında koro için yazdığı valstr. İsmi Tuna Nehri'nden almaktadır. https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCzel_Mavi_Tuna (eşim tarihi: 30.07.2026)

⁹ Buna dair bir bilgiye ulaşamadık.

¹⁰ Buna dair bir bilgiye ulaşamadık.

ödenebilseydi orta Anadolu'ya ikinci bir seyahat yapmak gibi hayaller kurdular. Diğer vilâyetler, Konya mesken bedellerini ödüyor da Manisa'da niçin ödemiyor diye haklı olarak kendilerine sormuşlardı (Anadolu, 2 Ağustos 1939).

Verilen bilgiye göre, Konya merkezinde 21 ilkokul ve 105 ilkokul öğretmeni vardı. Yalnız bir okulda çift eğitim yapıyordu. Bütün vilayetteki öğretmen sayısı 435 idi. Orta kısmı da olan bir liseden başka 18 sınıflı bir ortaokul, bir askeri ortaokul, kız öğretmen okulu, bölge sanat okulu ile kız akşam sanat okulu, bir ebe okulu, değerli eserlerle dolu zengin bir müzesi, kütüphanesi ve beş parkı vardı. Konya'da dört tane de sinema ve üç spor kulübü vardı. Koyun, keçi, yağ, peynir, buğday ve yün üreticiliği bol miktarda bulunuyordu. "*Konya'nın başka daha neleri vardır*" diye sorulunca Konyalı bir öğretmen şu cevabı verdi: "*Konya'nın tozu, Meram'ın suyu, Silile'nin kızı meşhurdur derler*". Avni Altın, çok mükemmel bulduğu bando ve caz heyetinin, Halkevine ait olup olmadığını sorunca Halkevi'ne ait olduğu, her zaman ve her saat hizmete hazır oldukları üstelik hem de çok masrafsız oldukları cevabını aldı. Bando öğretmenleri maaşlı olup diğerleri okulların hademeleriydi. Aldıkları 12 lira ücretle hem hademelik yapıyor hem de bandoda çalışıyorlardı. Resmi kıyafetlerini Halkevi yaptırıyordu. Caz heyetindeki kıyafetleri kendileri yaptırıyordu. Hademeler ara sıra düğünlerde çalıp para kazanıyordu. Resmi günlerde bir şey almıyorlardı. Konya'nın bu buluşu bandosu olmayan bütün vilâyetlere örnek olacak bir şeydi. Çünkü birçok yerde gençlerden kurulan bandolar yaz mevsiminde her birinin şuraya buraya dağılması veya bazısının işi bırakması yüzünden çok aksıyor ve bazı yerlerde de belediyeye çok yük oluyordu. Bazı vilâyetler çok hesapçı hareket ettiğinden 12 lira olan mektep hademelerine yaz aylarında dört ay parasını vermeyecek kadar ileri gidiyordu. Eğer bu iş üzerinde durulursa ve yazın hademelerin aylıkları verilirse bu evsafi haiz alınacak hademelerle on iki, on beş kişilik daimi bir bando ve caz kurulabilirdi. Birçok yerde bando vardı ama caz yoktu. Bir balo için başka yerlerden birçok masrafla caz getirtildiği için bu gibi eğlenceler masraftan kaçınarak seyrek yapılmak zorunda kalınıyordu. Bu açıdan bakıldığında Konyalıların buluşları tebrik ve takdire şayandı (Anadolu, 2-3 Ağustos 1939).

2.2. Şehir Gezisi

Tespitlerine göre, Konya'da manifatura eşyası hem pahalı hem de esnaf tok gözlüydü. Yerli Konyalıların kendine mahsus tipleri ve boylu poslu oluşları Manisa heyetinin dikkatini çekmişti. Karşılarındaki Konyalıların hepsi de kendilerine göre iri yarı kalıyordu. İzmir'de, Manisa'da, Balıkesir'de, Eskişehir'de, Adana'da tipler karıştı. Hâlbuki Kayseri'de, Hatay'da, Konya'da halk birbirine benziyordu. Bu sırada vali, belediye, Korkomutan ve Halkevini ziyarete gidenler geldi. Önde bando arkada öğretmenler grubu Atatürk anıtına gitti. İstiklal Marşı'yla Manisa öğretmenleri adına hazırlanan çelenk konuldu. Bu sırada Konya öğretmenleri ve Manisa heyeti fotoğrafçıları çeşitli fotoğraflar çektiler (Anadolu, 2 Ağustos 1939).

Ardından, Ordu Müfettişliği binası önünden geçip ilerlediler. Saat 12.00 olmuştu. Yollarının üzerindeki tarihi eserleri görmek istedi. Bu işe rehberlik eden Memduh Yavuz'un elinde büyük bir defter vardı. Konya'da tarihi eserler çoktu. Bir yandan bunların hepsini görmek istiyor ama on üç gündür yollarda oldukları için buna takat da yoktu. Bu yüzden en önemlilerini göstermesini rica ettiler. Hatta bir yayın varsa onu vermesini istediler ama yoktu. Bir kitapçıya girip Konya'ya ait yayınlanmış bir eser istediler ama yoktu. Kartpostallardan aldılar. Gezdikleri her yerde Halkevi'ne gittikleri zaman kendilerine o yörenin Halkevi yayınından ve o yöreye ait matbu eserlerinden birer tane hediye edilmiş, eğer matbu eser yoksa o yörenin tarihini ve eserlerini gösteren beş altı sayfalık daktilo ile yazılmış ve şapirograf ile teksir edilmiş notlar verilmişti. Konya'da bunu göremediler. Avni Altın'ın Konya'daki tarihi eserler hakkında verdi bilgiler, Memduh Yavuz ile gezerken tuttuğu kısa notlardan oluşmaktadır. Bir kapı

önünde durduklarında buranın “Arapoğlu Makamı”¹¹ ve “Osmanlı Hükümeti namına ilk hutbeyi okuyan Dursun Fakih”¹² Türbesi”nin burada olduğu söylendi (Anadolu, 3 Ağustos 1939).

Heyete, Sırçalı Medrese hakkında şu bilgiler verildi: Kapısı üzerinde işlemler Selçuklu mozaikleriyle bezenmiştir. Türk tarzı mimarisinin en güzel sembolleri olan bu yapı 640 Hicri tarihinde Bedreddin Muslih yaptırmış olup Selçuk padişahlarından Alâeddin Keykubad zamanına rastlar. Burada o zaman ilmi fakih tedris edilen bir yerdi ve meşhur Molla Gürani de burada ders verdi. Çinilerin bir kısmı Avrupalılar tarafından sökülerek çalınmıştır. Sahip Ata Camii hakkında şu bilgiler yer almaktadır: Sahip Ata Selçuklu vezirlerindendi. Vezirliği Haçlı ordularının Anadolu’yu istilası zamanına rastlamıştır. Camiinin mimarı Mevlana’nın müritlerinden de olan Konyalı Çelik¹³ bin Abdullah’tır. Bu camiinin bir tarafı yanmış ve yalnız kapı ve mihrabı kalmıştır. 1258 yılında yeniden yapılmış, 22 yıl sonra Hankah¹⁴ olmuş ve bilâhare Sahip Ata’nın türbesi yapılmıştır. Sahip Ata, Kılıç Arslan ve Keyhüsrev zamanının en kudretli veziri olup aslen Konyalıdır. Asıl ismi de Muhiddin Ali bin el Hüseyin el-hac Ebubekir’ül Konevi’dir (Anadolu, 3 Ağustos 1939).

Memduh Yavuz heyete cami kapısının önündeki kitabeyi okudu ve istek üzerine not ettirdi. Kitabe ile ilgili tutulan not şuydu: “*Emere bi imareti Hazel mescidil mubareki fi eyyamı devletüs sultanilazam. Zillüllahi fil âlem maliki rikabül ümeni seyyidi selâtinil arabi vel acem izzet dünya veddin ebül fetih keykavus ibni keyhusrev ve halledüllahü sultanetül abdüzzaihül muhtaç. İlâ rahmetullahi Ali bin el Hüseyin ibnül Haç Ebu Bekir Gaferellâhü veli valideyye seheti sitte ve hamsin ve sitte mic..*”¹⁵ (Anadolu, 4 Ağustos 1939).

Memduh Yavuz’a göre, Sahibi Ata mihrabı dünyanın en güzel mihrabıdır. Yüksekliği altı metre kadardır. Onun Konya’da yaptığı eserler çoktur. Sahibi Ata’nın cesedi mumyalanmış bir halde bu türbededir. Kızı Mülkiye Hatun yanında mumya halinde durur. Bunlardan başka mumyalar ve mezarlar da var. Bir Konyalı söze karışarak, vaktiyle bu camide müezzinlik yaptığını, türbeyi incelediğini, mumyaların hâlâ olduğu gibi durduğunu ancak saçların döküldüğünü, eli, ayak ve parmakların hepsinin 600 kadar sene geçtiği halde durduğunu, çok iyi mumyalandığını, 656 yılında yapılan Himaye¹⁶ medresesi ile 800 yıllık Sultan Hamamı’nın da Sahip Ata’nın eseri olduğunu söyledi. Konya kalesi ile ilgili verilen bilgi şuydu: Konya’da iki kale vardır. Biri Taş devrine ait 2400 yıl önce yapılmıştır. Kalenin on iki kapısı vardır. Bunlar çok eskiden Romalılar ve Bizanslılar tarafından üst üste yapılmış, Selçuklular tarafından da yeniden tamir edilmiştir.

¹¹ Yaptığımız araştırmada Konya’da “Arapoğlu Makamı” adlı bir isme rastlamadı. Bunun “Arapoğlu Makası” şeklinde olması lazımdır. Muhtemelen bir dizgi hatası olmalıdır.

¹² Dursun Fakih, Karacahisar’ın fethinden (1289) sonra Osman Gazi tarafından şehrin kadılığına ve kiliseden çevrilen caminin imamlığına getirilmiştir. Burada Osman Bey adına ilk cuma hutbesini okuyan kişidir. Kaynaklara göre, bu hutbe Osmanlıların istiklâl alâmeti olarak okunan ilk hutbedir. Kabri Konya’da değil, Bilecik’te Şeyh Edebalı Zaviyesi içindeki türbededir (Aksoy 1994).

¹³ Çelik değil “Kölük” olmalıdır. Bkz. (Parlak 2008).

¹⁴ İslâm dünyasında tarikat yapılarına verilen adlardan biri (Tanman 1997).

¹⁵ Düzeltilmiş hali şu şekildedir: “*Emere bi İmâratil-mescidi'l-mübareki fi Eyyâmî devleti's-Sultânî'l-Muazzam Melikü rikâbi'l-ümem Seyyidü selâtîni'l-arabi ve'l-acem İzzüddünya ve'd-din Keykâvus b. Keyhüsrev Halledellahu Sultânehü el-Abdu'd-daifu el-Muhtâc ilâ Rahmetillahi Ali b. Hüseyin İbnü'l-Hacc Ebû Bekr Gaferallahu lehü ve livâlideyhi Senete Sittetin ve Hamsîn ve Sittümiyetin*”. Düzeltilmiş hali için Prof.Dr. Fatih Güzel’e teşekkür ederim. Metnin tercümesi de şu şekildedir: “*Bu mübarek mescidin kurulmasını; 656 yılında büyük sultan, ümmetlerin hâkimi, Arap ve Acem sultanlarının efendisi, din ve dünyanın izzeti, fâtihi Keyhüsrev’in oğlu Keykavus’un hükümdarlığı günlerinde –Tanrı otoritesini ebedi kılsın- Allah rahmetine muhtaç zayıf kulu Hacı Ebubekir oğlu Hüseyin oğlu Ali emretmiştir. Allah kendisini, anne ve babasını affetsin.*” (Kunt-Soy 2020).

¹⁶ İnce Minareli Medrese olmalıdır.

Bu kapılardan Larende kapısı en haşmetlisidir. Larende Caddesi de Konya'nın en eski caddesidir. İstanbul kapısı da ünlüdür (Anadolu, 4 Ağustos 1939).

Yol üzerinde İsmetpaşa okuluna uğradılar. Tatil dolayısıyla sınıflarda görülecek bir şey yoktu. Fakat müzesi görülmeye değerd. Burada bütün ders materyalleri bilhassa tarih ve coğrafya için tarih çağları, Türkiye'nin illeri, Kurtuluş Savaşı tarihleri, inkılaplar, Cumhuriyet'te yükselen fabrikalar vs. büyük karton levhalarda gösterilmişti. Çarpma ve toplama öğretimi için pil ve elektrik kordonuyla düzenlenen bir sistem yapılmıştı. Örneğin, öğrenci bir fişi soruya bir fişi de cevaba getirdiği zaman ya ampul yanıyor yahut zil çalıyor. Bu sistem alfabeyle bile uygulanmıştı. Bir tarafa resimler bir tarafa kelimeler sıralanmış ve öğrencinin ilk zamanda resmin yazıyla ifadesini kavraması için bir tarafa bir fişi bir tarafa da diğer fişi koyunca zil çalacak ve öğrenci sevinecekti. Güzel buluş fakat Manisa heyetine biraz masraflı biraz da öğrenciyi mihanikiliğe (mekanikliğe) alıstırdığı ve çocuğun yaratıcılığı kaybolduğu için bu işte aşırılığa kaçmış gibi geldi. Ama sonuçta bu da bir tercihti. Ardından Sanat Mektebi'ne geldiler ve Konya'daki meslektaşlarıyla samimi bir hava içinde öğle yemeğini yediler. Tekrar Konya'yı dolaşmaya çıktılar. Bayanlar kuyumcu dükkânlarına girip Hatay'dan aldıkları bileziklerin değerini sordular. Gördüler ki Konya'da altın daha ucuzdu. Aynı bilezikler Hatay'da 33 lira iken Konya'da 25 liraydı. *“Ne yapalım, bu Hatay hatırası. Hem biz baktık onlar bu kadar işlemeli değil”* diye kendilerini teselli ettiler (Anadolu, 4 Ağustos 1939).

2.3. Mevlana Müzesini Ziyaret

Müzeyi ziyaret sırasında müze müdürü eserleri tanıtmıştır. H. 672 tarihli en eski ve yirmi beş bin beyitlik 6 cilt bir arada Mevlana Celaleddini Rumi'nin Mesnevi'sini görünce hayret ettiler. Bu bir ömre bedel kitap nasıl yazılmıştı? Müze müdürü Mevlana'nın diğer eseri için şunu söylemişti: *“Bu da Mevlana Celaleddin'in Divan-ı Kebiri olup doksan üç bin beyitten ibarettir. Kitaplarda süs ve tezyin cilt sanatı da yüksek.”* Ek olarak Damat İbrahim Paşa'nın 450 senelik Kur'anlarını gösterdi. Devamında, H. 951'de on üç sene boyunca emekle yazılan ve Halil Rumi'nin kızı Fatma'nın eseri olan çok nefis bir Kur'an'ı tanıttı. Müzede, halı üzerinde yazılarla işlenmiş bir seccadede Türk halıcılığının neler yaptığını gösteren Konya gazetesinin bir nüshası asılıydı. Mevlevilerin şişleri, idman halkaları vardı. Sultan Alaeddin zamanında yapılmış bu büyük halkalara, Mevlana Celaleddin Rumi tarafından da iki halka armağan olarak eklenmişti. Tebrizi'nin başına giydiği kavuk, Mevlana'nın elbiseleri ve oğlunun cübbesi de müzede bulunan hatıralardı. Boş bir camekân önünde duran müze müdürü *“Burada dünyanın en kıymetli halısı vardı ki bunda bir santimetrede 144 ilmik olup bütün bu halı seccade beş milyon ilmikten ibaretti. Asıl hususiyeti alıp büyükçe bir cebe konacak halde oluşu.”* Demiştir. *“Şimdi bu kıymetli halı ne oldu”* sorusuna, *“Amerika'da açılan sergide Türk pavyonuna (standına) gönderdik. Sergi sonunda geri gelecektir. Ve bu halı H.622 tarihinde Alâeddin'i Selçuki'nin Mevlana'ya hediyesidir.”* (Anadolu, 1 Ağustos 1939).

Müzede perdelerle kapalı bir yer gördüler ve arkasını görmek istediler. Müdür, orada Mevlana'nın ve babasının mezarı bulunduğunu, babasınının dik olan olduğunu söyledi. Sebebini sorduklarında şu izahı aldılar: *“Mevlana'nın pederi, oğlunun kendisinden daha ileri olduğunu görerek hürmet ediyor, o gelirken ayağa kalkıyor, onu temsilen işte lahdin biri yatık biri de dik konmuş.”* Heyet yakından görmek istemiş ama yasak cevabı almış. Müzede “yasak” fikrini tuhaf bulan heyete, 1925'te tekkeler kapandıktan sonra ziyaret edilmesin diye bir maarif müdürünün bunu uygulamaya koyduğu ifade edildi. Müzede Mevlana'ya ait her şeyi görüp, mezarına gelince görmeme düşüncesi hayli garip geldi (Anadolu, 4 Ağustos 1939).

Müze müdürü 1199 tarihli Âşık Ömer Divanı hakkında şu bilgileri vermiştir: *“Âşık Ömer'in bu divanını Atatürk çok beğenmişti ve bunun hiçbir yerde bulunmayan Türkçe beyitlerini istemişti.*

Bir dosya halinde çıkardık ve gönderdik. Âşık Ömer'in bir halk şairi olduğu zannolunuyordu. Hâlbuki divan şairi olduğunu bu kitap gösteriyor.” Sultan Murad zamanında yazılmış bir Kur'an hakkında da *“her satırların altında Türkçesi”* bulunduğunu, bunu da Atatürk'ün beğendiğini ve basılmamış kelimelerini istediğini, Türkçesini yazan kişinin Türkçe kelimeleri de harekeli olarak yazdığını ekliyor (Anadolu, 5 Ağustos 1939).

2.4. Diğer İntibalar

Müzeden çıktıktan sonra Kız Öğretmen Okulu'ndan dönen arkadaşlarıyla birlikte Dede bahçesine, Konya öğretmenlerinin toplandığı yere doğru yola çıktılar. Yol üzerinde Gazi İlkokulu'na uğradılar. Burada da sanatta zengin gene elektrikli materyaller, boncukla işlenmiş haritalar, kibrit kutularından camlatılmış koleksiyonlar, renkli tebeşir gözü ile şişelerde gösterilmiş toprak tabakaları, pamuktan kış manzaraları gibi talebe elinden çıkmış birçok eşya ve hazır ders materyalini gördüler. Dede bahçesine vardıklarında buranın aynı zamanda fidanlık gibi bir yer ve her tarafta ağaç olduğunu gördüler. Suyun nereden geldiğini merak edip sağa sola bakınca gözleri bir motorlu sondaj makinesine takıldı. Bunu fark eden Konya'da Tan gazetesinin muhabiri Celal Bey ayağa kalkarak şu bilgileri verdi: *“Konya ovası bir zahire ambarıdır. 200 kilometrelik bu ovanın sulanarak ezeli kuraklıktan kurtarılması için topraklar altında su aramak mecburiyeti vardır. Karşılarında duran sondaj makinesinin indiği derinlik 487 metredir. Bu makine 530 metreye inebilir ve burada iyi netice verirse bütün ovada beş yüz metre derinliğe inerek gür sular aranacaktır. 50-90 metreden su çıkaran köylüler bu suretle rahat suya kavuşacaktır.”* (Anadolu, 5 Ağustos 1939).

Konya öğretmenleriyle caz eşliğinde dondurma yediler. Şakalaştılar. Samimi sohbetler ettiler. Avni Altıner mikrofonu alarak Manisa heyetinin duygularına tercüman olan bir konuşma yaptı ve dedi ki: *“Biz Konya'ya gelirken yorgunduk. Fakat istasyonda Konyalı arkadaşların sıcak tebessümleri karşısında bir lahza hepsini unuttuk. Onlar bizi yıllarca uzakta kalmış bir baba, bir kardeş, bir anne gibi karşıladılar. Biz de onlara aynı heyecanla teklifsizce kendi evimize gelmiş gibi baktık. O sırada güneş ufka kavuşuyordu. Biz de Konya'ya kavuştuk. Güneşin gurubunu seyretmek ne kadar doyulmaz ve emsalsiz bir manzara teşkil ediyorsa Konya öğretmenleriyle Manisa öğretmenlerinin birbirlerini heyecanla karşılayışları gurup kadar seyredilecek bir manzara teşkil etmişti. Bütün halk bize böyle bakmıştı. Biz yıllar geçse de karşılaştığımız o kıymetli anı ve aranızda geçirdiğimiz ve hayatımızda bir daha rastlayamayacağımız bu kıymetli dakikaları unutmayacağız ve her an bu yüksek misafirperverliği, Konya öğretmenlerinin ılık ve gür samimiyetlerini kalbimizde yaşatacağız.”*

Konya öğretmenleri adına Memduh Yavuz söz alarak, kendilerine karşı gösterilen teveccühten ve bu kıymetli günleri kendilerine yaşattıkları için teşekkürlerini, heyecanlarını ve samimi arkadaşlık duygularını ifade etti. Manisa öğretmenlerinden Enver Bey, herkesi güldüren nükteli sözlerle hiçbir yerde görmedikleri bu kalabalık öğretmen kitlesinden ayrılmanın çok zor olacağını ve Konyalıları ısındığını söyledi. Etraftan *“kalın bir gün daha kalın”* sesleri üzerine, Enver Bey, *“kalacağız ama biletlerin müddeti bitiyor, tren paramız da yok, biletleri alırsanız kalalım”* diyerek herkesi güldürdü (Anadolu, 5 Ağustos 1939).

Zamanın darlığı dolayısıyla Konya içinde kısa bir geziye çıktılar. Yolda İnce Minare'nin önünden geçerken Memduh Yavuz bilgi vermeyi ihmal etmedi. *“681'de yapılan bu meşhur ince minarenin 1901'de yıldırımından iki şerefesi düşmüştür. Bu eseri Sahip Ata yaptırmış, yapan da evvelce anlatılan mimar Çelik Abdullah'tır.”* Alâeddin Tepesi'ne geldiler. Fotoğraflar çektiler. Oradan Sanat Okulu'na geçtiler. Konya öğretmenlerinin akşam yemeği davetine katıldılar. Bu üçüncü ziyafet oluyordu. Acele ile yemek yediler çünkü tren saat yedide kalkacaktı. İstasyona gelince Konya öğretmenleri Manisa heyeti başkanına bir buket verdiler. Trende topluca

oturacakları bir yer bulamadılar. Boş buldukları yerlere yerleştiler. Ancak neredeyse hemen hepsi bir daha üçüncü mevkide seyahate tövbe ettiler. Tren hareket ederken, Konyalılar şerefine üç defa, “Varol. Varol. Varol” diye bağıldılar. Tren Afyona doğru yola çıktı (Anadolu, 5 Ağustos 1939). Afyon, Alaşehir üzerinden Manisa’ya vardılar. Böylece 15 günlük seyahat sona erdi.

3. SONUÇ

Manisa öğretmenleri heyeti Manisa’ya dönüş yolunda Konya öğretmenleri tarafından çok samimi bir hava içinde karşılandılar. Misafirlik süresinde izzet ve ikram gördüler. Konya’daki bazı okulları inceleyip ders materyalleri ve eğitim durumu hakkında bilgi aldılar. Konya öğretmenlerinin yıllar içinde ek ödeneklerinin ödenmesi konusunda kendilerinden daha iyi bir durumda oldukları gördüler. Konya’daki tarihi eserlerden bazılarını ziyaret ettiler ve rehberlerinden tarihi eserler hakkında bilgi aldılar. En çok etkilendikleri yer Mevlana Müzesi oldu. Konya’dan memnun bir şekilde ayrılıp Manisa’ya doğru yola çıktılar. Kısa süreli bu gezide gözleme dayalı olarak verilen bilgilerin yerel ve dönemsel açıdan kıymetli olduğu kanaatindeyiz. Konya’ya ait gezi notlarının dönemin manzarasını yansıtmaları açısından kayda değer tanıklık içerdiğini belirtmek gerekir.

KAYNAKÇA

- Aksoy Hasan. (1994). Dursun Fakih. TDV İslâm Ansiklopedisi, Cilt:10, 7-8.
- Akşin Aptülâhat. (1991). Atatürk’ün Dış Politika İlkeleri ve Diplomasisi. Türk Tarih Kurumu Yayınları.
- Anadolu.
- Armaoğlu Fahir. 20. Yüzyıl Siyasi Tarihi 1914–1980. (1988). Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Düstur. (1929). 2. Tertip. Cilt:2. Milliyet Matbaası.
- Düstur. (1931). 3. Tertip. Cilt:5. Necmi İstikbal Matbaası.
- https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCzel_Mavi_Tuna (erişim tarihi: 30.07.2026)
- Kunt İbrahim, Necdet Bekirhan Soy. (2020). Konya Kitabeleri. C:2, Matbaacılık ve Reklam Hizm. San. Tic. Ltd. Şti.
- Parlak Sevgi. (2008). Sahib Ata Külliyesi. TDV İslâm Ansiklopedisi, Cilt:35, 516-518.
- Sarınay Yusuf. (1996). Atatürk’ün Hatay Politikası -I- (1936 -1938). Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi 12 (34), 3-65.
- Sarınay Yusuf. (1996). Atatürk’ün Hatay Politikası -II- (1938 -1939). Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi 12(35), 407-454.
- T.C. Genelkurmay Başkanlığı. Türk İstiklal Harbi IV. Cilt Güney Cephesi. (2009). Genelkurmay Basım Evi.
- T.C. Genelkurmay Başkanlığı. Türk İstiklal Harbi I Mondros Mütarekesi ve Tatbikatı. (1999). Genelkurmay Basım Evi.
- Tanman M. Baha. (1997). Hankah. TDV İslâm Ansiklopedisi, Cilt:16, 43-46.
- Yamaç Müzehher. (2023). Atatürk Döneminin Son Kazanımı İskenderun Sancağı- Hatay. Akademik Bakış Cilt 17 Sayı:33, 21-44.

Mo₆I₈ MOLEKÜLER KÜMELERİNDE APİKAL LİGANDLARIN RADYODUYARLAŞTIRICI ETKİLERİNİN HESAPLAMALI İNCELENMESİ

Assist. Prof. Dr. Ashhan SÜMER

University of Health Sciences Turkey, Faculty of Pharmacy, Department of Analytical
Chemistry, 34668 Istanbul, Turkey

ORCID ID: 0000-0003-3948-528X

ÖZET

Radyodinamik terapi (RDT), radyoterapi ve fotodinamik terapinin avantajlarını bir araya getiren yeni bir kanser tedavi yöntemidir. Görünür ışığın dokulara sınırlı penetrasyonu nedeniyle kullanımı ancak cilt seviyesinde kısıtlı kalan fotodinamik terapinin aksine, RDT derin yerleşimli tümörleri de tedavi etme potansiyeline sahiptir. Yöntemin temelinde x-ışınları ve ışığa duyarlı bileşikler (radyoduyarlastırıcılar) kullanılarak reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu artırmak bulunmaktadır. Oluşan bu ROS'lar DNA zincir kırılmalarına, biyomoleküller arası çapraz bağlanmalara ve lipid peroksidasyonuna neden olarak kanser hücrelerinin ölümünü teşvik ederler. RDT tedavisinde radyoduyarlastırıcı olarak Mo₆I₈L₆ tipindeki oktahedral molibden iyodür kümeleri umut vadeden malzemelerdendir. Bu yapılarda metal çekirdek, ağır elementlerden oluşmaları sayesinde X-ışınlarıyla etkileşimi kolaylaştırır ve karakteristik fotofiziksel özellikleri sayesinde de singlet ksijeni (¹O₂) etkin bir şekilde üretebilirler. Metal çekirdeğe bağlı altı adet apikal ligand ise, kümenin kimyasal ve fotofiziksel özelliklerinin belirli terapötik işlevlere yönelik olarak ayarlanmasına olanak sağlayan oldukça esnek bir platform sunmaktadır. Bu çalışmada, Mo₆I₈L₆ tabanlı radyoduyarlastırıcıların yapısal ve kimyasal özellikleri ile RDT işlevleri arasındaki ilişkiler hesaplamalı olarak incelenmiştir. Yoğunluk fonksiyoneli teorisi (DFT) hesaplamaları kullanılarak ligand bağlanma enerjileri, sınır moleküler orbital enerjileri, redoks özellikleri, singlet-triplet enerji farkları, oksijen afinitesi ve hidrolitik kararlılık gibi işlevsel özelliklerle ilişkilendirilebilecek moleküler tanımlayıcılar belirlenmiştir. Özellikle, tümör hücrelerindeki hipoksik koşulların aşılmasına yönelik olarak deneysel olarak incelenmiş apikal ligandlara odaklanılmıştır. Bunlar arasında hücreye oksijen taşınmasını kolaylaştırabilen perflorooktanoat ve trans-krosetinat ile endoperoksit oluşturabilen ve ışınlama sonucunda singlet oksijen açığa çıkarma potansiyeline sahip 4-metil-1-naftoat ve antrasen-9-karboksilat bulunmaktadır. Bu yaklaşım, hipoksik koşullar altında RDT için Mo₆ tabanlı radyoduyarlastırıcıların rasyonel olarak tasarlanmasına yönelik hesaplamalı bir çerçevenin oluşturulmasını amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Radyodinamik terapi; Mo₆I₈ kümeleri; radyoduyarlastırıcılar; DFT; singlet oksijen; hipoksik tümörler; yapı-özellik ilişkisi

COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF APICAL LIGANDS AND THEIR EFFECTS ON THE RADIOSENSITIZING PROPERTIES OF Mo₆I₈ CLUSTERS

ABSTRACT

Radiodynamic therapy (RDT) combines the advantages of radiotherapy and photodynamic therapy by employing radiosensitizers (RSs) that enhance the local generation of reactive oxygen species (ROS) upon X-ray irradiation. Unlike photodynamic therapy, which is limited by the poor penetration of visible light into tissues, RDT offers the potential to treat deep-seated tumors. Octahedral molybdenum iodide clusters of the type [Mo₆I₈L₆]ⁿ⁻ are promising

radiosensitizers because their heavy-element composition facilitates X-ray interactions, while their characteristic photophysical properties enable efficient production of singlet oxygen ($^1\text{O}_2$). The resulting ROS can induce DNA strand breaks, biomolecular crosslinking, and lipid peroxidation, ultimately promoting cancer cell death. Importantly, the six labile apical ligands provide a versatile platform for tuning the chemical and photophysical properties of the cluster toward specific therapeutic functions. In this study, we performed a computational investigation of the structure–property relationships governing Mo_6I_8 -based radiosensitizers. Density functional theory (DFT) calculations were used to identify molecular descriptors that can be correlated with experimentally measured functionality, such as ligand binding energies, frontier orbital energies, redox properties, singlet–triplet energy gaps, oxygen affinity, and hydrolytic stability. Particular attention was given to experimentally investigated apical ligands designed to address hypoxic conditions, including perfluorooctanoate and trans-crocetinate, which can facilitate oxygen transport, and 4-methyl-1-naphthoate and anthracene-9-carboxylate, which can form endoperoxides and potentially release singlet oxygen upon irradiation. This approach aims to establish a computational framework for rationally designing and prioritizing Mo_6 -based radiosensitizers for RDT under hypoxic conditions.

Keywords: Radiodynamic therapy; Mo_6I_8 clusters; radiosensitizers; DFT; singlet oxygen; hypoxic tumors; structure–property relationship

1. INTRODUCTION

Cancer is not merely a health problem for individuals; it is a significant global public health issue and causes enormous economic and social burdens on healthcare systems. According to GLOBOCAN 2022 data published by the International Agency for Research on Cancer (IARC), there were approximately 20.0 million new cancer cases and 9.7 million cancer-related deaths worldwide in 2022 (Bray 2024). The statistical data indicate that approximately one in five individuals will develop cancer during their lifetime, and roughly one in nine men and one in twelve women will lose their lives to the disease. Projections suggest that the global number of new cases will exceed 35 million by 2050. Consequently, the development of more effective and targeted treatment approaches—particularly for advanced-stage and deeply situated tumors—remains a key area of research in cancer.

The main approaches used in cancer treatment are surgery, radiotherapy, and systemic therapies (chemotherapy, hormone therapy, targeted therapies, and immunotherapy), which can be applied alone or in combination (Sonkin 2024). Surgery offers a significant advantage, especially in localized and solid tumors, by allowing the direct removal of tumor tissue; however, it may be limited in metastatic disease. Chemotherapy offers a significant advantage in metastatic disease because it can target cancer cells in different parts of the body via systemic circulation; however, it is associated with toxicity because it also affects rapidly dividing healthy cells. Targeted therapies offer a more selective treatment approach by targeting specific molecular targets that enable cancer cells to grow and spread; however, they are only effective in tumors with suitable biomarkers, and resistance to treatment may develop. Immunotherapy, on the other hand, can provide long-term responses in some types of cancer by increasing the capacity of the immune system to recognize and eliminate cancer cells; however, its effectiveness is not at the same level in all patients, and side effects may occur due to the immune system targeting healthy tissues. Radiotherapy aims to control tumor growth or eliminate tumors by damaging the DNA of cancer cells through the application of high-energy

ionizing radiation, e.g. high-energy X-ray photons, to the tumor tissue. It is very effective and after surgery, one of the most established treatment methods. However, in the treatment of deep-seated tumors, a high dose of X-rays (50-80 Gy) is usually required to effectively destroy cancer cells but this increases radiation toxicity on healthy tissues near the target tissue (Sun 2020).

X-ray photons themselves are not charged particles and do not directly release their energy in tissue in radiation therapy. They do not directly kill the tumor cells. The main interaction mechanisms of X-rays in tissue are the photoelectric effect, Compton scattering, and pair formation at high energies (Mott 2021). In the photoelectric effect, the photon transfers all of its energy to an electron bound to the molecule, and this electron is detached from the atom. The resulting electron vacancy in the atom is filled by the downward transition of electrons from higher energy levels. Since the probability of the photoelectric effect depends on the atomic number (Z), high- Z elements can absorb X-rays more effectively in biological tissues than low- Z elements. In Compton scattering, the photon transfers part of its energy to an electron, and then scattered at a lower energy level and in a different direction. The probability of the Compton effect is independent of Z ; it decreases as the photon energy increases. At very high photon energies, the photon's energy can be used to create an electron-positron pair. The secondary electrons created as such can ionize or excite water molecules in the tissue: $\text{H}_2\text{O} + \text{radiation} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$. Subsequent reactions occurring over very short timescales can result in the formation of hydroxyl radicals ($\cdot\text{OH}$), hydrogen radicals ($\cdot\text{H}$), and other reactive species. These radicals, particularly the hydroxyl radical, are extremely reactive and can react with biomolecules such as DNA, proteins, and lipids, causing oxidative damage. In summary, the x-ray photon first interacts with an atom or molecule within the tissue, transferring its energy to an electron; the resulting high-energy electrons then ionize the surrounding atoms and molecules, resulting in the actual local energy accumulation.

Phototherapy is a general method used to treat dermatological diseases (e.g., psoriasis, vitiligo, and eczema), neonatal jaundice, and some wound healing processes, particularly using visible light or near-infrared wavelengths for therapeutic purposes. Light can be used directly or to activate the effects of specific drugs or photosensitizers. The latter is called photodynamic therapy (PDT). PDT is a treatment method based on activating a photosensitizer molecule with light of a specific wavelength to create a therapeutic effect. When a photosensitizer absorbs light, it enters an excited state and transfers its energy to molecular oxygen, leading to the formation of reactive oxygen species (ROS), primarily singlet oxygen ($^1\text{O}_2$). ROS cause oxidative damage to cell membranes, proteins, and other biomolecules, triggering the death of target cells. The main advantage of PDT is that it provides localized and controlled treatment because the light activates the photosensitizer only in the area where it is applied. In the treatment of cancer, compared to chemotherapy and radiotherapy, PDT is safer and causes fewer side effects on normal tissues. However, it has a significant limitation, especially in the treatment of deep-seated tumors, due to the limited penetration of light into tissues. X-ray photodynamic therapy (X-PDT) or radiodynamic therapy (RDT), on the other hand, is an emerging cancer treatment method that combines the advantages of radiotherapy and photodynamic therapy. Unlike photosensitizers activated by visible light or near-infrared light in PDT, in RDT, X-rays activate special molecules or nanomaterials called radiosensitizers. The much higher tissue penetration of X-rays compared to visible light makes it possible to use RDT in the treatment of superficial tumors as well as deep-seated tumors.

It has already been observed that some photosensitizers act as radiosensitizers under certain conditions. Schaffer et al. Has demonstrated that Photofrin II, an FDA-approved photosensitizer, can also be used as a radiosensitizer (Schaffer 2005). Numerous other materials with different properties are being investigated within the scope of RDT. Some of these systems, called X-PDT, consist of scintillator nanoparticles that absorb X-ray energy, convert it into visible light, and activate a photosensitizer through this light; for this purpose, materials containing lanthanide elements such as Gd, Lu, and La, as well as semiconductors such as ZnS and ZnO, have been investigated (Chen 2006). Another approach aims to enhance X-ray absorption and the photoelectric/Compton effect, along with secondary electrons and associated local energy accumulation, using Au, HfO₂, Bi, and Ta nanoparticles containing high atomic number elements. Mo₆I₈-based molecular clusters offer a different approach combining X-ray interaction and ROS generation on a single molecular platform (Kirakci 2012, Kirakci 2016, Evtushok 2017). Similarly, molybdenum-containing polyoxometalates (POMs) have also been investigated for X-ray-induced ROS generation and radiosensitization (Maiti 2019).

The interest in Mo₆I₈ clusters initially arose from the identification of their photophysical and radioluminescence properties, investigated independently of cancer treatment. A significant milestone was the demonstration of the X-ray-excitable radioluminescence properties of Mo₆ iodide clusters and their capacity to generate singlet oxygen in high efficiency by transferring energy to molecular oxygen (Kirakci 2012). These findings formed the basis for the idea that Mo₆I₈ clusters could be used as radiosensitizers due to their ability to interact effectively with X-rays thanks to their heavy element content and also to produce ROS. Subsequent studies revealed that Mo₆ complexes can enhance the antiproliferative effect of radiation in cancer cells under X-ray irradiation, making these systems a more direct subject of investigation for RDT (Evtushok 2017). However, problems such as the limited stability of free Mo₆ complexes in aqueous environments, along with issues such as aggregation, have presented significant limitations for biological applications. [Mo₆I₈L₆]ⁿ⁻ type complexes with apical ligands designed to enhance RDT efficiency of Mo₆I₈ clusters and the optimization of radiosensitizing properties through the rational design of apical ligands is a key area of research in cancer treatment.

2. METHODS

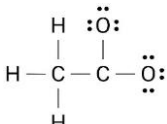
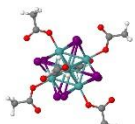
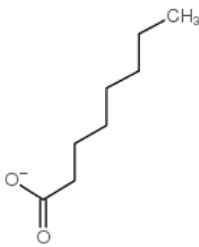
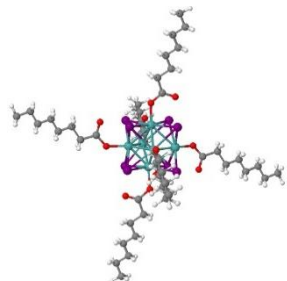
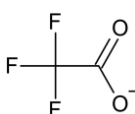
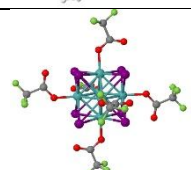
Density functional theory (DFT) computations were performed with NWChem quantum chemistry package and TPSSH exchange-correlation functional. Effective core potential based spherical Gaussian basis sets denoted as cc-pVDZ-PP were used for Mo and I. For H, C, and O atoms, 6-311G(2df,2pd) basis set was used. The unrestricted formalism was used throughout the calculations. The experimentally characterized [Mo₆I₈L₆]ⁿ⁻ complexes identified in the literature were used as benchmark systems to establish the used DFT protocol. For this purpose, some of the computations were repeated using several combinations of exchange–correlation functional, relativistic treatment, basis set, and dispersion correction, and the optimized structures were systematically compared with available experimental crystal structures. Particular emphasis was placed on Mo–Mo, Mo–I, and Mo–L bond lengths and key structural parameters, as well as the overall geometry of the Mo₆I₈ core.

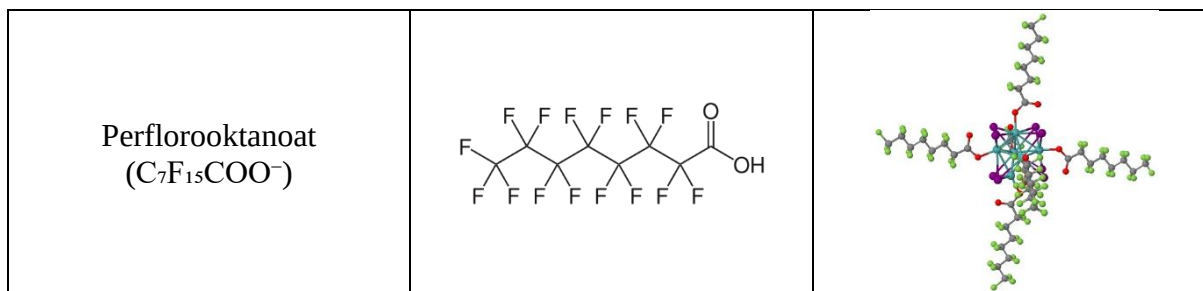
3. RESULTS AND DISCUSSION

The first step in this research was to perform a comprehensive literature review to identify the key molecular properties, molecular descriptors, that can be correlated with experimentally

measured functionality of $[\text{Mo}_6\text{I}_8\text{L}_6]^{n-}$ type complexes and to establish a rational design approach for new apical ligands. In the literature, particular attention was given to cluster stability, since the limited stability of free Mo_6 complexes in aqueous environments, along with issues such as ligand exchange and aggregation, have presented significant limitations for biological applications up to now. Thus, strong Mo-L interactions and appropriate steric protection that can reduce hydrolysis, ligand loss, and subsequent cluster aggregation is one potential descriptor for high RDT efficiency. Oxygen availability was also discussed thoroughly in literature since efficient $^1\text{O}_2$ generation requires sufficient access of molecular oxygen to the excited Mo_6 core. Excited-state properties of the complex that govern energy transfer to O_2 and the role of ligand on these properties is another property directly related to the RDT efficiency. In this context, HOMO-LUMO energies, triplet-state energy, intersystem crossing, and spin-orbit coupling, which govern excitation and energy transfer to O_2 are among the physicochemical properties of the complex which can be as descriptors. Among the ligands that were studied experimentally in the laboratory were carboxylates (RCOO^-) which constitute a very common class of ligands. Ligands such as perfluorooctanoate and trans-crocetinate that can support oxygen transport, while aromatic ligands such as 4-methyl-1-naphthoate and anthracene-9-carboxylate that can enable endoperoxide formation and potentially singlet oxygen release are considered as good candidates for apical ligands. In addition, phosphinates such as phenylphosphinate and diphenylphosphinate have been investigated, particularly to improve the hydrolytic stability of Mo_6 clusters. Carboxylates containing crown ether and biofunctionalizable ligands such as cholate have been used to improve water solubility, biocompatibility, and cellular interactions. The diversity of ligands used in the literature is considered an important parameter that ensures success for establishing structure-property relationships using descriptors such as ligand binding/dissociation energy, electronic structure, O_2 interaction, excited-state energies, and SOC.

Table 1. Computationally optimized $[\text{Mo}_6\text{I}_8\text{L}_6]^{n-}$ type complexes with different apical ligands

L Formula	L Structure	$[\text{Mo}_6\text{I}_8\text{L}_6]$ Structure
Acetate (CH_3COO^-)		
Octanoate ($\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COO}^-$)		
Trifluoroacetate (CF_3COO^-)		



Through DFT optimizations, a series of structurally simple apical ligands—acetate, octanoate, trifluoroacetate, and perfluorooctanoate—were investigated (Table 1). These ligands were selected to provide a simple and systematic progression in organic-chain length and fluorination, while minimizing additional structural complexity. The optimized $[Mo_6I_8L_6]$ complexes were compared in terms of ligand binding/dissociation energies and structural parameters, followed by analysis of their electronic structures, including HOMO, LUMO, HOMO–LUMO gaps, and orbital localization. The initial objective was to determine whether increasing the organic chain length and/or introducing fluorination produces systematic changes in the strength of ligand–cluster interactions and the electronic structure of the Mo_6I_8 core. This simple ligand series was therefore to provide a baseline structure–property relationship before moving to more complex and functionally designed ligands.

The initial calculations indicate that substitution of the apical ligands (L) in $[Mo_6I_8L_6]$ clusters significantly influences the electronic structure of the complexes. For the ligand systems investigated so far, the calculated HOMO–LUMO gaps span approximately 1.5–2.6 eV. Orbital analysis further shows that the apical ligands make a substantial contribution to the HOMO, whereas the LUMO is predominantly localized on the Mo_6I_8 core. These results demonstrate that the apical ligands are not merely structural substituents but provide an effective means of modulating the electronic structure of the Mo_6I_8 cluster, supporting their further investigation as a key design parameter for RDT-oriented systems.

4. Conclusions

A comprehensive literature search and DFT calculations were used to identify molecular descriptors that can be correlated with experimentally measured functionality, such as ligand binding energies, frontier orbital energies, redox properties, singlet–triplet energy gaps, oxygen affinity, and hydrolytic stability. Particular attention was given to experimentally investigated apical ligands, e.g. designed to address hypoxic conditions, including perfluorooctanoate, which can facilitate oxygen transport. Initial calculations successfully showed that the apical ligands are not merely structural substituents but provide an effective means of modulating the electronic structure of the Mo_6I_8 cluster. This approach aims to establish a computational framework for rationally designing and prioritizing Mo_6 -based radiosensitizers for RDT under real conditions.

REFERENCES

Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 74(3), 229–263.

- Sonkin, D., Thomas, A., & Teicher, B. A. (2024). Cancer treatments: past, present, and future. *Cancer Genetics* 286, 18–24.
- Sun, W., Zhou, Z., Pratz, G., Chen, X., & Chen, H. (2020). Nanoscintillator-mediated X-ray induced photodynamic therapy for deep-seated tumors: from concept to biomedical applications. *Theranostics* 10(3), 1296.
- Mott, J. H. L., & Daniel, J. M. (2021). Interactions of electromagnetic radiation and subatomic particles with matter-part 1. *Clinical Oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))* 33(7), 451–454.
- Schaffer, M., Ertl-Wagner, B., Schaffer, P. A., Kulka, U., Jori, G., Duhmke, E., & Hofstetter, A. (2005). The application of Photofrin II® as a sensitizing agent for ionizing radiation-a new approach in tumor therapy? *Current Medicinal Chemistry* 12(10), 1209–1215.
- Chen, W., & Zhang, J. (2006). Using nanoparticles to enable simultaneous radiation and photodynamic therapies for cancer treatment. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 6(4), 1159–1166.
- Kirakci, K., Kubát, P., Dušek, M., Fejfarová, K., Šícha, V., Mosinger, J., & Lang, K. (2012). A highly luminescent hexanuclear molybdenum cluster—a promising candidate toward photoactive materials. *European Journal of Inorganic Chemistry* 2012(19), 3107–3111.
- Kirakci, K., Kubát, P., Fejfarová, K., Martincik, J., Nikl, M., & Lang, K. (2016). X-ray inducible luminescence and singlet oxygen sensitization by an octahedral molybdenum cluster compound: a new class of nanoscintillators. *Inorganic Chemistry* 55(2), 803–809.
- Evtushok, D. V., Melnikov, A. R., Vorotnikova, N. A., Vorotnikov, Y. A., Ryadun, A. A., Kuratieva, N. V., ... & Shestopalov, M. A. (2017). A comparative study of optical properties and X-ray induced luminescence of octahedral molybdenum and tungsten cluster complexes. *Dalton Transactions* 46(35), 11738–11747.
- Maiti, D., Zhong, J., Zhang, Z., Zhou, H., Xion, S., Dong, Z., ... & Yang, K. (2019). Polyoxomolybdate (POM) nanoclusters with radiosensitizing and scintillating properties for low dose X-ray inducible radiation-radiodynamic therapy. *Nanoscale Horizons* 5(1), 109–118.

KOAH TANILI HASTALARIN GÖĞÜS HASTALIKLARI POLİKLİNİK BAŞVURULARININ MEVSİMSEL DAĞILIMI VE HASTANEYE YATIŞ İLE İLİŞKİLİ FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uzm. Dr. Yıldız Uçar

Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Ankara

ORCID ID: 0000-0001-6526-7281

Öğr. Gör. Dr. Muhammed Kamiloğlu

Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Acil Tıp Anabilim Dalı, Ankara

ORCID ID: 0000-0003-0317-018X

Prof. Dr. Keziban Uçar Karabulut

Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Acil Tıp Anabilim Dalı, Ankara

ORCID ID: 0000-0001-9188-0266

ÖZET

Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), hastalık seyrinde ortaya çıkan alevlenmeler ve buna bağlı sağlık hizmeti kullanımı nedeniyle önemli bir morbidite nedenidir. Çevresel koşullar, solunum yolu enfeksiyonları ve mevsimsel değişiklikler KOAH ile ilişkili başvuruların sıklığını etkileyebilmekte, ancak bu mevsimsel değişimin hastaneye yatış gereksinimine ne ölçüde yansıdığı net değildir. Bu çalışmanın amacı, KOAH tanılı hastaların Göğüs Hastalıkları polikliniğine başvurularının aylara ve mevsimlere göre dağılımını incelemek ve hastaneye yatış ile ilişkili demografik ve zamansal faktörleri değerlendirmektir. Çalışmaya toplam 495 hasta dahil edildi. Hastaların yaş ortalaması $69,8 \pm 10,6$ yıl olup 404'ü (%81,6) erkek, 91'i (%18,4) kadındı. Hastaların 49'u (%9,9) hastaneye yatırıldı. Başvurular en sık kış mevsiminde (%37,4), en az yaz mevsiminde (%13,1) gerçekleşirken; aylık bazda en fazla başvuru Ocak (n=71), Şubat (n=58) ve Aralık (n=56) aylarında görüldü. Hastaneye yatış oranları açısından aylar ($p=0,353$) ve mevsimler ($p=0,346$) arasında anlamlı farklılık saptanmadı. Yaş ile hastaneye yatış arasında da anlamlı ilişki bulunmadı ($p=0,329$). Buna karşın kadın hastalarda hastaneye yatış oranı erkek hastalara göre anlamlı olarak daha yüksekti (%16,5'e karşı %8,4; $p=0,020$). Çok değişkenli lojistik regresyon analizinde yaş ve mevsim için düzeltme sonrasında kadın cinsiyetinin hastaneye yatış ile bağımsız olarak ilişkili olduğu saptandı (OR=2,07; $p=0,034$). Sonuç olarak, KOAH tanılı hastaların Göğüs Hastalıkları poliklinik başvuruları belirgin bir mevsimsel dağılım göstermekle birlikte, başvuru ayı ve mevsimi hastaneye yatış oranlarıyla ilişkili bulunmamıştır. Kadın hastalarda gözlenen daha yüksek hastaneye yatış oranının nedenlerinin, hastalık şiddeti ve diğer klinik değişkenleri içeren ileri çalışmalarla değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı, KOAH, Göğüs Hastalıkları, poliklinik, mevsimsellik, hastaneye yatış

SEASONAL DISTRIBUTION OF PULMONOLOGY OUTPATIENT VISITS AMONG PATIENTS WITH COPD AND FACTORS ASSOCIATED WITH HOSPITALIZATION

ABSTRACT

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is an important cause of morbidity due to its clinical course and associated healthcare utilization. Environmental conditions, respiratory infections, and seasonal variations may influence the frequency of COPD-related healthcare visits; however, the extent to which these seasonal variations are reflected in the need for hospitalization remains unclear. This study aimed to investigate the monthly and seasonal distribution of pulmonology outpatient visits among patients with COPD and to evaluate demographic and temporal factors associated with hospitalization. A total of 495 patients were included in the study. The mean age was 69.8 ± 10.6 years; 404 (81.6%) patients were male and 91 (18.4%) were female. Overall, 49 patients (9.9%) were hospitalized. Outpatient visits occurred most frequently in winter (37.4%) and least frequently in summer (13.1%), with the highest numbers of visits observed in January ($n=71$), February ($n=58$), and December ($n=56$). Hospitalization rates did not differ significantly across months ($p=0.353$) or seasons ($p=0.346$). Similarly, age was not significantly associated with hospitalization ($p=0.329$). In contrast, the hospitalization rate was significantly higher among female patients than among male patients (16.5% vs. 8.4%, $p=0.020$). In multivariable logistic regression analysis, female sex remained independently associated with hospitalization after adjustment for age and season ($OR=2.07$, $p=0.034$). In conclusion, pulmonology outpatient visits among patients with COPD demonstrated a distinct seasonal distribution; however, neither the month nor the season of presentation was associated with hospitalization rates. The higher hospitalization rate observed among female patients warrants further investigation in studies incorporating disease severity and other relevant clinical variables.

Keywords: Chronic obstructive pulmonary disease, COPD, pulmonology, outpatient clinic, seasonality, hospitalization

1. GİRİŞ

Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), kalıcı hava akımı kısıtlanması ve solunumsal semptomlarla karakterize, dünya genelinde önemli morbidite ve mortaliteye yol açan heterojen bir solunum sistemi hastalığıdır. Güncel GOLD stratejisi, KOAH yönetiminde semptom yükünün azaltılması, alevlenmelerin önlenmesi ve gelecekteki klinik riskin değerlendirilmesini temel hedefler arasında tanımlamaktadır [1].

KOAH ile ilişkili sağlık hizmeti kullanımının yıl boyunca homojen dağılmadığı ve özellikle ılıman iklim bölgelerinde belirgin bir mevsimsellik gösterdiği bilinmektedir. TORCH çalışmasında kuzey ve güney yarımkürede KOAH alevlenmelerinin kış aylarında yaklaşık iki kat arttığı, tropikal bölgelerde ise belirgin bir mevsimsel patern bulunmadığı bildirilmiştir [2]. Aynı çalışmada ileri yaş, düşük beden kitle indeksi, daha düşük FEV1, önceki alevlenme öyküsü ve kadın cinsiyet daha yüksek alevlenme sıklığı ile ilişkili bulunmuştur.

Benzer şekilde POET-COPD çalışmasında kış aylarındaki ortalama aylık alevlenme oranının yaz aylarına göre 2,16 kat daha yüksek olduğu gösterilmiş; buna karşın alevlenmelerin hastaneye yatışla sonuçlanma oranının yıl boyunca görece sabit kaldığı bildirilmiştir [3]. TIOSPIR çalışmasında da 19.494 alevlenmenin %34,1'i kış, %16,4'ü yaz döneminde meydana gelmiş ve kış aylarında alevlenme yükünün yaklaşık iki kat arttığı gösterilmiştir [4].

Mevsimsel değişimin olası nedenleri arasında düşük ortam sıcaklığı, viral ve bakteriyel solunum yolu enfeksiyonlarının artması, hava kirliliği ve çevresel maruziyetlerdeki değişiklikler yer almaktadır. Soğuk mevsimlerde ortaya çıkan KOAH alevlenmelerinin daha ık üst solunum yolu semptomları ile seyrettiği ve iyileşme süresinin uzayabildiği bildirilmiştir [5]. Ayrıca viral enfeksiyonların KOAH alevlenmelerindeki payının kış aylarında arttığı ve bakteriyel-viral etkileşimlerin de mevsimsel alevlenme yüküne katkıda bulunabileceği gösterilmiştir [6,7].

Hastaneye yatışlarda da benzer bir mevsimsellik gözlenmektedir. Barcelona metropolitan bölgesinde yapılan nüfus tabanlı bir çalışmada KOAH nedeniyle hastaneye yatışların %37,2'sinin kış aylarında meydana geldiği ve haftalık ortalama sıcaklıktaki her 1°C azalmanın hastane yatışlarında yaklaşık %4,7 artışla ilişkili olduğu bildirilmiştir [8]. Finlandiya'da 21 yıllık verileri kapsayan geniş bir seride de KOAH yatışlarının kışın zirve yaptığı ve bu mevsimsel paternin özellikle kadınlarda ve ileri yaş grubunda daha belirgin olduğu gösterilmiştir [9].

Bununla birlikte, toplam başvuru veya yatış sayısındaki mevsimsel artış ile başvuran bir hastanın yatış olasılığının mevsime göre değişmesi aynı klinik kavram değildir. Bazı büyük çalışmalarda kış aylarında olay sayısı belirgin biçimde artmasına karşın, alevlenme başına hastaneye yatış oranının yıl boyunca benzer kaldığı bildirilmiştir [2,3].

KOAH'ın klinik görünümü ve sağlık hizmeti kullanımı cinsiyete göre de farklılık gösterebilir. Büyük 3CIA analizinde kadın hastaların daha genç olmalarına ve daha az sigara maruziyetine rağmen daha fazla dispne ve daha yüksek alevlenme sıklığı bildirdikleri gösterilmiştir [10]. Türkiye'den yapılan retrospektif bir çalışmada ise kadın KOAH hastalarında daha ağır gaz değişim bozukluğu, daha fazla hastaneye yatış ve daha uzun yatış süresi bildirilmiştir [11]. Cinsiyet farklılıklarının hava yolu yapısı, semptom algısı, inflamatuvar yanıt, komorbidite profili ve sağlık hizmetine başvuru davranışı gibi çok sayıda biyolojik ve klinik mekanizma ile ilişkili olabileceği öne sürülmektedir [12].

Bu çalışmanın amacı, Eylül 2024-Temmuz 2026 tarihleri arasında Başkent Üniversitesi Konya Uygulama ve Araştırma Merkezi Göğüs Hastalıkları Polikliniğine başvuran KOAH tanılı hastaların aylık ve mevsimsel başvuru dağılımlarını incelemek ve hastaneye yatış ile ilişkili demografik ve zamansal faktörleri değerlendirmektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Tasarımı ve Hasta Popülasyonu

Bu çalışma Başkent Üniversitesi Konya Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilen tek merkezli, retrospektif gözlemsel bir çalışma olarak planlandı. Eylül 2024-Temmuz 2026 tarihleri arasında Göğüs Hastalıkları Polikliniğine başvuran ve KOAH tanısı bulunan hastaların kayıtları retrospektif olarak değerlendirildi.

Belirlenen çalışma döneminde çalışma kriterlerini karşılayan toplam 495 hasta analize dahil edildi. Hastalara ait yaş, cinsiyet, başvuru tarihi ve poliklinik değerlendirmesi sonrasında hastaneye yatış durumu hastane kayıtlarından elde edildi.

Etik Onay: Çalışma, Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu tarafından KA26/363 proje numarası ile onaylanmıştır.

2.2. Değişkenler ve Mevsimlerin Tanımlanması

Hastaların yaşı, cinsiyeti, poliklinik başvuru tarihi ve hastaneye yatış durumu kaydedildi. Başvurular aylara göre sınıflandırıldı. Mevsimsel değerlendirme amacıyla Aralık, Ocak ve Şubat ayları kış; Mart, Nisan ve Mayıs ayları ilkbahar; Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları yaz; Eylül, Ekim ve Kasım ayları sonbahar olarak kabul edildi.

Çalışmanın temel sonlanım noktası, poliklinik değerlendirmesi sonrasında hastaneye yatış olarak belirlendi. Hastaneye yatırılan ve yatırılmayan hastalar yaş, cinsiyet, başvuru ayı ve başvuru mevsimi açısından karşılaştırıldı.

2.3. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi. Sürekli değişkenler ortalama±standart sapma, kategorik değişkenler sayı ve yüzde olarak ifade edildi. İki bağımsız grubun yaş ortalamalarının karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t testi kullanıldı. Kategorik değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson Ki-kare testi ile değerlendirildi. Hastaneye yatış ile bağımsız olarak ilişkili faktörleri değerlendirmek amacıyla çok değişkenli lojistik regresyon analizi gerçekleştirildi. Modele yaş, cinsiyet ve başvuru mevsimi dahil edildi. Sonuçlar odds oranı (OR) olarak ifade edildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmaya toplam 495 hasta dahil edildi. Hastaların yaş ortalaması $69,8 \pm 10,6$ yıl olup %81,6'sı erkekti. Hastaların %9,9'u hastaneye yatırıldı. Başvurular en sık kış mevsiminde (%37,4), en az ise yaz mevsiminde (%13,1) gerçekleşti. Ocak ($n=71$), Şubat ($n=58$) ve Aralık ($n=56$) en fazla başvurunun görüldüğü aylar oldu.

Başvuruların kış aylarında belirgin biçimde yoğunlaşması, daha önce bildirilen mevsimsel KOAH verileriyle uyumludur. TORCH, POET-COPD ve TIOSPIR çalışmalarının tümünde kış döneminde alevlenme yükünün yaz aylarına kıyasla yaklaşık iki kat arttığı gösterilmiştir [2-4]. Bizim çalışmamızda da başvuruların %37,4'ünün kış, yalnızca %13,1'inin yaz aylarında gerçekleşmesi benzer bir mevsimsel paterni desteklemektedir.

Bu bulgunun altında birden fazla mekanizmanın rol oynaması mümkündür. Soğuk hava, bronşiyal irritasyon ve hava yolu daralmasına katkıda bulunabilirken, kış aylarında artan viral enfeksiyonlar ve bakteriyel-viral etkileşimler KOAH semptomlarının kötüleşmesini kolaylaştırabilir. Donaldson ve arkadaşları soğuk mevsimlerde alevlenmelerin daha fazla nezle ve öksürük semptomuyla seyrettiğini, iyileşme süresinin uzadığını ve hastaneye yatış oranının sıcak mevsimlere göre arttığını bildirmiştir [5]. Viral etkenlerin dört mevsimde görülebilmesine rağmen kış aylarında daha sık saptanması da mevsimsel farklılığa katkıda bulunabilir [6].

Buna karşın çalışmamızda hastaneye yatış oranları açısından mevsimler arasında anlamlı fark saptanmadı. İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde yatış oranları sırasıyla %9,0, %13,8, %6,3 ve %11,4 idi ($p=0,346$). Benzer şekilde aylara göre yatış oranları arasındaki fark da anlamlı değildi ($p=0,353$).

Bu bulgu ilk bakışta kış mevsiminde hastane yatışlarının arttığını bildiren çalışmalarla çelişkili görünebilir. Ancak burada önemli olan toplam yatış sayısı ile başvuru başına yatış olasılığının birbirinden ayrılmasıdır. TORCH çalışmasında kış aylarında toplam alevlenme ve hastaneye yatış sayısı artarken, alevlenmelerin yaklaşık %20'si mevsimden bağımsız olarak hastane yatışı gerektirmiştir [2]. POET-COPD çalışmasında da kış dönemindeki alevlenme oranı yaz döneminin iki katından fazla olmasına rağmen alevlenmeye bağlı hastaneye yatışların oransal dağılımının yıl boyunca sabit kaldığı bildirilmiştir [3]. Bu açıdan çalışmamızın sonuçları, kışın KOAH ile ilişkili sağlık hizmeti kullanımının arttığını ancak başvuran hastanın yatış gereksiniminin yalnızca mevsim tarafından belirlenmediğini düşündürmektedir.

Aylık yatış oranları değerlendirildiğinde Temmuz (%20,8) ve Ağustos (%20,0) aylarında daha yüksek oranlar gözlenmiştir. Ancak bu aylarda toplam başvuru sayıları sırasıyla yalnızca 24 ve 10 olduğundan, yüksek yüzdelerin küçük paydalardan etkilenmiş olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aylara göre genel karşılaştırmanın anlamlı olmaması da bu değerlerin tek

başına klinik çıkarım amacıyla kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Benzer biçimde STATCOPE ve MACRO verilerinin analizinde kışın toplam alevlenme oranının daha yüksek olmasına rağmen ağır alevlenmelerin oransal olarak yaz döneminde daha yüksek bulunması, olay sıklığı ile olay şiddetinin aynı mevsimsel paterni göstermeyebileceğini ortaya koymuştur [13].

Hastaneye yatırılan hastaların yaş ortalaması $71,2 \pm 12,1$ yıl, yatırılmayan hastaların ise $69,7 \pm 10,4$ yıl idi ve aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildi ($p=0,329$). Buna karşın kadın hastalarda yatış oranı erkek hastalara göre anlamlı olarak daha yüksekti (%16,5'e karşı %8,4; $p=0,020$).

Çok değişkenli lojistik regresyon analizinde yaş ve mevsim hastaneye yatış ile anlamlı olarak ilişkili bulunmazken, kadın cinsiyeti yaş ve mevsim için düzeltme sonrasında hastaneye yatışla bağımsız olarak ilişkiliydi ($OR=2,072$; $p=0,034$). Bununla birlikte modelin açıklayıcılığı düşüktü (Nagelkerke $R^2=0,022$) ve modelin genel anlamlılık testi anlamlı değildi (Omnibus $p=0,151$). Bu nedenle kadın cinsiyetine ilişkin bulgunun nedensel bir ilişki olarak değil, ileri araştırmalar gerektiren bir ilişki olarak yorumlanması daha uygun görünmektedir.

Kadınlarda daha yüksek yatış oranı literatürde bildirilen bazı cinsiyet farklılıklarıyla uyumludur. TORCH analizinde kadınların erkeklere göre daha sık alevlenme yaşadığı bildirilmiştir [2]. 17.139 KOAH hastasını içeren 3CIA analizinde de kadın hastalarda dispne ve alevlenme sıklığının daha yüksek olduğu gösterilmiştir [10]. Türkiye'den Kilic ve arkadaşlarının çalışmasında kadın hastalarda daha ağır gaz değişim bozukluğu, daha fazla tekrar eden hastaneye yatış ve daha uzun yatış süresi bildirilmiştir [11].

Bununla birlikte cinsiyet ile KOAH sonuçları arasındaki ilişki tüm çalışmalarda aynı yönde değildir. Güncel büyük ölçekli bazı kohortlarda kadınların düzenli uzun etkili bronkodilatör tedavisi altında erkeklere göre daha düşük orta-ağır alevlenme riski taşıdığı bildirilmiştir [14]. Bu farklılıklar hasta seçimi, kullanılan tedaviler, hastalık şiddeti, sigara maruziyeti, komorbiditeler ve sağlık hizmeti erişimi gibi çok sayıda değişkenden kaynaklanabilir.

Kadın ve erkek KOAH hastaları arasındaki biyolojik farklılıklar da bu bulgulara katkıda bulunabilir. Kadınlarda daha küçük hava yolu çapı, farklı akciğer mekanikleri, daha fazla dispne algısı ve bazı inflamatuvar veya hormonal mekanizmaların farklı seyretmesi klinik tabloyu etkileyebilir [12,15]. Bunun yanı sıra komorbidite profili ve sağlık hizmetine başvuru davranışlarının cinsiyete göre farklılık gösterebileceği de bildirilmiştir [16].

Çalışmanın Kısıtlılıkları

Bu çalışmanın bazı önemli kısıtlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle çalışmanın retrospektif ve tek merkezli olması sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. İkinci olarak, hastalık şiddeti, spirometri bulguları, sigara kullanım durumu, uzun süreli oksijen tedavisi, komorbiditeler, ilaç kullanımı, enfeksiyon varlığı ve başvuru sırasındaki klinik şiddet gibi hastaneye yatış kararını etkileyebilecek değişkenler analizde yer almamıştır.

Ayrıca çalışma dönemi Eylül 2024-Temmuz 2026 arasını kapsadığından başlangıç ve bitiş yılları tam takvim yılı değildir. Bu nedenle özellikle aylık ve mevsimsel toplam başvuru sayıları tanımlayıcı olarak yorumlanmalı, gerçek yıllık insidans veya mevsimsel risk oranı şeklinde değerlendirilmemelidir. Bununla birlikte mevcut çalışma, gerçek yaşam poliklinik verileri üzerinden KOAH tanılı hastalarda sağlık hizmeti kullanımının zamansal dağılımını ve hastaneye yatışla ilişkili temel değişkenleri ortaya koymasından açısından değerlidir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada KOAH tanılı hastaların Göğüs Hastalıkları Polikliniği başvurularının belirgin bir mevsimsel dağılım gösterdiği ve başvuruların en fazla kış aylarında gerçekleştiği saptandı.

Bununla birlikte, başvuru ayı ve mevsimi hastaneye yatış oranlarıyla anlamlı olarak ilişkili değildi. Bu bulgu, KOAH ile ilişkili sağlık hizmeti kullanımının kış aylarında artmasına rağmen, başvuru sonrasında hastaneye yatış gereksiniminin yalnızca mevsimsel faktörlerle açıklanamayacağını düşündürmektedir.

Kadın hastalarda hastaneye yatış oranı erkek hastalara göre daha yüksek bulundu ve yaş ile mevsim için düzeltme sonrasında kadın cinsiyeti hastaneye yatışla bağımsız olarak ilişkili olmaya devam etti. Bununla birlikte regresyon modelinin düşük açıklayıcılığı ve değerlendirilmemiş klinik değişkenler dikkate alındığında bu ilişkinin ihtiyatlı yorumlanması gerekmektedir. Hastalık şiddeti, solunum fonksiyonları, komorbiditeler ve tedavi özelliklerinin dahil edildiği daha geniş ve çok merkezli çalışmalar, KOAH tanılı hastalarda hastaneye yatışla ilişkili faktörlerin daha kapsamlı olarak ortaya konmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. **Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: 2026 Report.** GOLD; 2026.
2. Jenkins CR, Celli B, Anderson JA, et al. Seasonality and determinants of moderate and severe COPD exacerbations in the TORCH study. **Eur Respir J.** 2012;39:38-45. doi:10.1183/09031936.00194610.
3. Rabe KF, Fabbri LM, Vogelmeier C, et al. Seasonal distribution of COPD exacerbations in the Prevention of Exacerbations with Tiotropium in COPD trial. **Chest.** 2013;143:711-719. doi:10.1378/chest.12-1277.
4. Wise RA, Calverley PMA, Carter K, Clerisme-Beaty E, Metzdorf N, Anzueto A. Seasonal variations in exacerbations and deaths in patients with COPD during the TIOSPIR trial. **Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.** 2018;13:605-616.
5. Donaldson GC, Goldring JJP, Wedzicha JA. Influence of season on exacerbation characteristics in patients with COPD. **Chest.** 2012;141:94-100. doi:10.1378/chest.11-0281.
6. Jansen RR, Wieringa J, Koekkoek SM, et al. Occurrence of virus-induced COPD exacerbations during four seasons. **Infect Dis.** 2015. doi:10.3109/00365548.2014.968866.
7. Wilkinson TMA, Aris E, Bourne S, et al. A prospective observational cohort study of the seasonal dynamics of airway pathogens in the aetiology of exacerbations in COPD. **Thorax.** 2017.
8. Almagro P, Hernandez C, Martinez-Cambor P, et al. Seasonality, ambient temperatures and hospitalizations for acute exacerbation of COPD: a population-based study in a metropolitan area. **Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.** 2015;10:899-908.
9. Vilkinen S, Keistinen T, Tuuponen T, Kivelä SL. Seasonal variation in hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Finland. **Arctic Med Res.** 1996;55:182-186.
10. Alonso Pérez T, et al. Sex differences between women and men with COPD: a new analysis of the 3CIA study. **Respir Med.** 2020;171:106105. doi:10.1016/j.rmed.2020.106105.
11. Kilic H, Kokturk N, Sari G, Cakir M. Do females behave differently in COPD exacerbation? **Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.** 2015;10:823-830. doi:10.2147/COPD.S78952.
12. Dominelli PB, et al. Sex-differences in COPD: from biological mechanisms to therapeutic considerations. **Front Med.** 2024;11:1289259. doi:10.3389/fmed.2024.1289259.

13. Ramaraju K, et al. Seasonal and regional variations in chronic obstructive pulmonary disease exacerbation rates in adults without cardiovascular risk factors. **Ann Am Thorac Soc.** 2018.
14. Dong YH, et al. Sex differences in the risk of acute exacerbations among patients with chronic obstructive pulmonary disease treated with long-acting bronchodilators. **Respiration.** 2026. doi:10.1159/000550457.
15. Zysman M, et al. Chronic obstructive pulmonary disease in women: a biologically focused review with a systematic search strategy. **Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.** 2020.
16. Sodhi A, et al. Sex and gender in lung disease and sleep disorders: a state-of-the-art review. **Chest.** 2022;162.

TABLO ve GRAFİKLER

Tablo 1. KOAH tanısı ile göğüs hastalıkları polikliniğine başvuran hastaların demografik ve klinik özellikleri

Değişken	Değer
Toplam hasta, n	495
Yaş (ortalama $\pm$ SS)	69,8 $\pm$ 10,6
Erkek, n (%)	404 (81,6)
Kadın, n (%)	91 (18,4)
Hastaneye yatış, n (%)	49 (9,9)
Taburcu, n (%)	446 (90,1)

Tablo 2. KOAH tanısı ile göğüs hastalıkları polikliniğine başvuran hastaların aylara göre dağılımı ve hastaneye yatış oranları

Ay	Toplam Başvuru n (%)	Hastaneye Yatış n (%)
Ocak	71 (14,3)	11 (15,5)
Şubat	58 (11,7)	6 (10,3)
Mart	48 (9,7)	6 (12,5)
Nisan	45 (9,1)	2 (4,4)
Mayıs	41 (8,3)	4 (9,8)
Haziran	31 (6,3)	2 (6,5)
Temmuz	24 (4,8)	5 (20,8)
Ağustos	10 (2,0)	2 (20,0)
Eylül	30 (6,1)	1 (3,3)
Ekim	40 (8,1)	2 (5,0)
Kasım	41 (8,3)	4 (9,8)
Aralık	56 (11,3)	4 (7,1)

Pearson Ki-kare testi, p=0,353

Tablo 3. KOAH tanısı ile göğüs hastalıkları polikliniğine başvuran hastaların mevsimlere göre dağılımı ve hastaneye yatış oranları

Mevsim	Toplam Başvuru n (%)	Hastaneye Yatış n (%)
İlkbahar	134 (27,1)	12 (9,0)
Yaz	65 (13,1)	9 (13,8)
Sonbahar	111 (22,4)	7 (6,3)
Kış	185 (37,4)	21 (11,4)

Pearson Ki-kare testi, p=0,346

Tablo 4. Hastaneye yatış ile ilişkili tek değişkenli analiz sonuçları

Değişken	Test	Bulgular	p değeri
Yaş	Independent Samples t-testi	69,7±10,4 vs. 71,2±12,1 yıl	0,329
Cinsiyet	Pearson Ki-kare testi	Erkek: %8,4, Kadın: %16,5	0,020
Mevsim	Pearson Ki-kare testi	İlkbahar %9,0; Yaz %13,8; Sonbahar %6,3; Kış %11,4	0,346
Ay	Pearson Ki-kare testi	Ocak %15,5; Temmuz %20,8; Ağustos %20,0 vb.	0,353

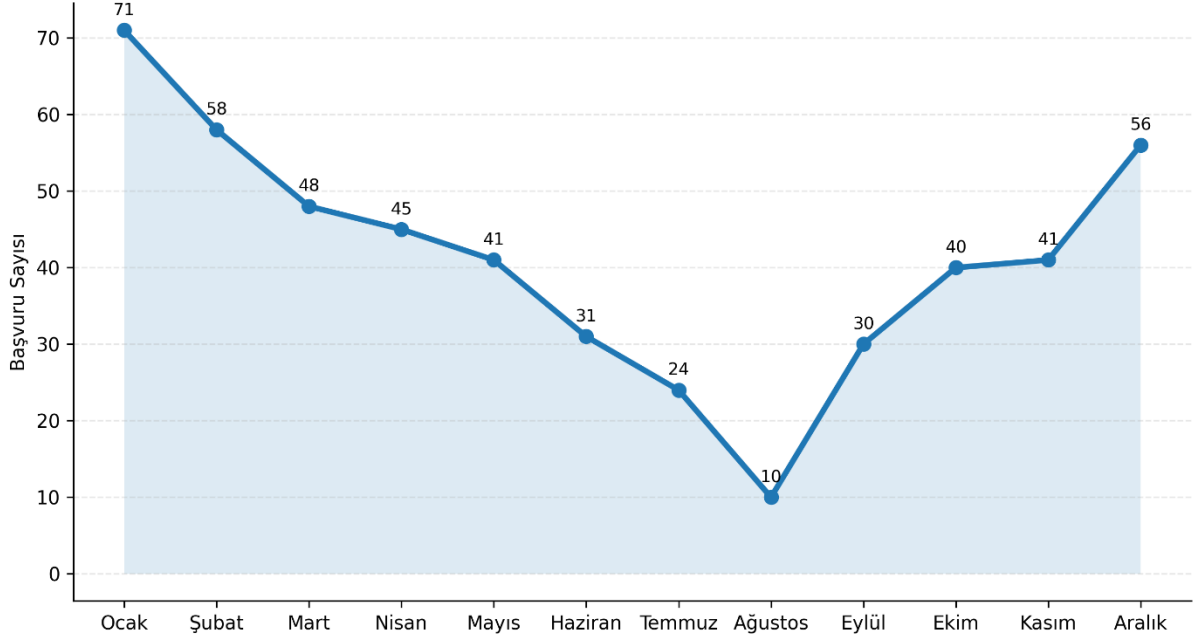
Tablo 5. Hastaneye yatışı öngören faktörlere ilişkin çok değişkenli lojistik regresyon analizi

Değişken	Odds Oranı (OR)	p değeri
Yaş	1,01	0,407
Kadın cinsiyet	2,07	0,034
Mevsim	0,94	0,673

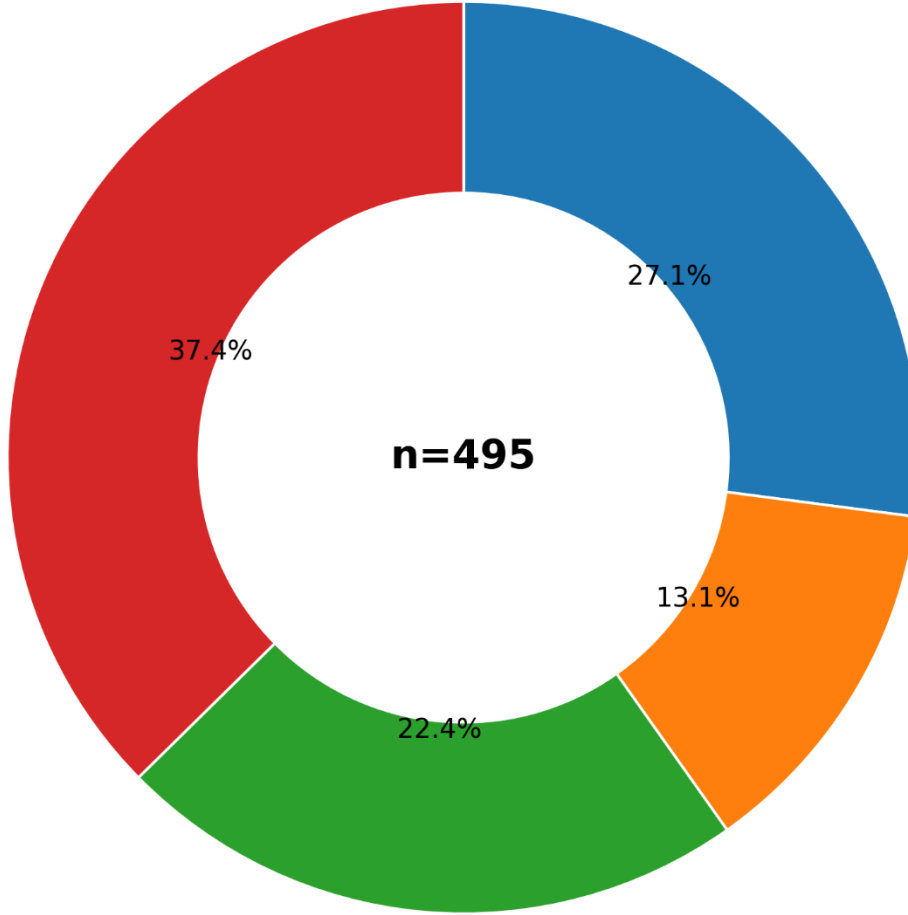
Model uyumu:

- Omnibus test: **p=0,151**
- Nagelkerke R²: **0,022**

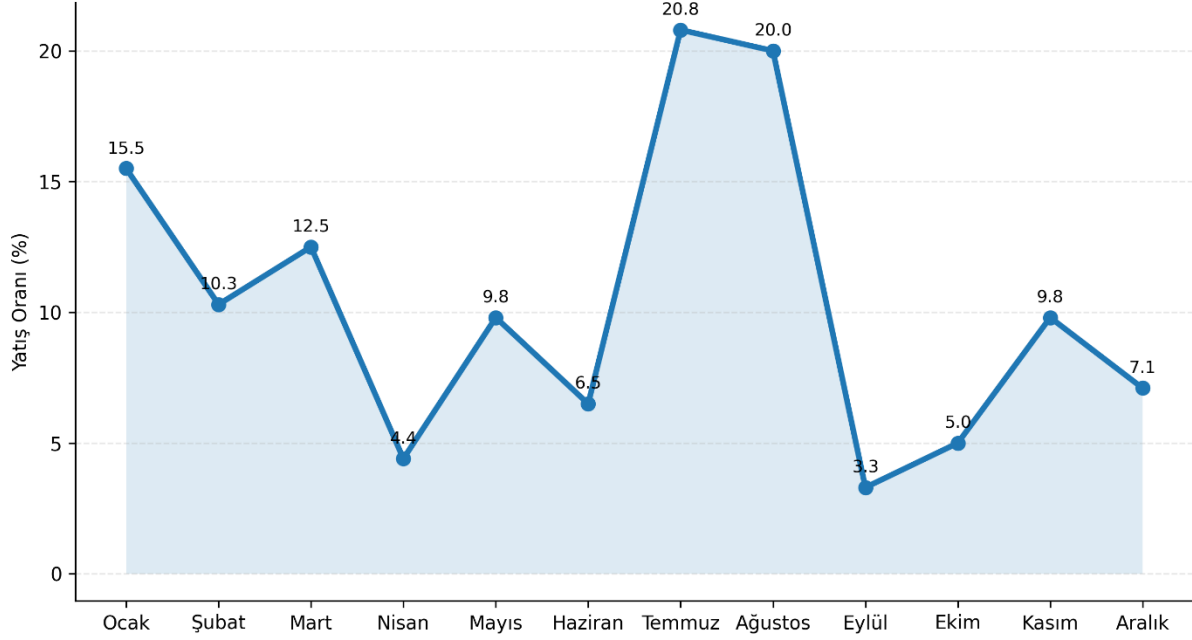
KOAH Başvurularının Aylara Göre Dağılımı



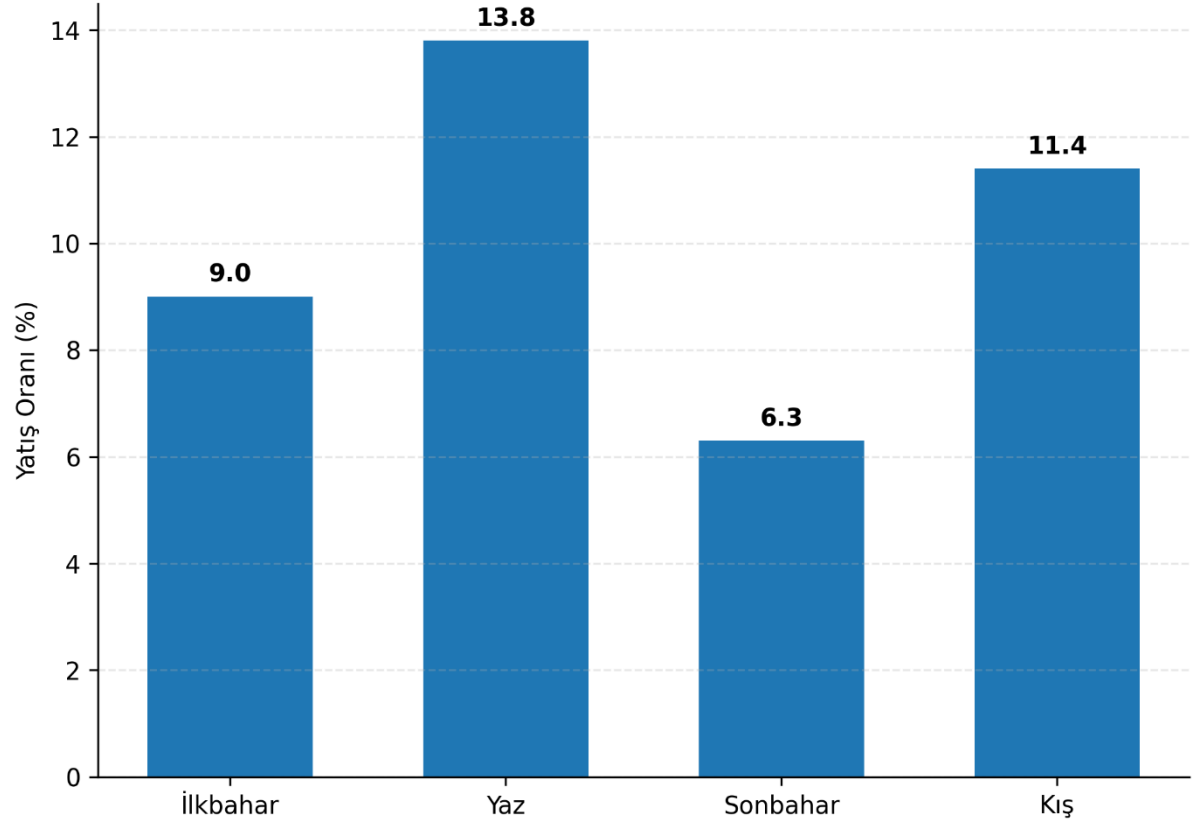
KOAH Başvurularının Mevsimlere Göre Dağılımı



Aylara Göre Hastaneye Yatış Oranları

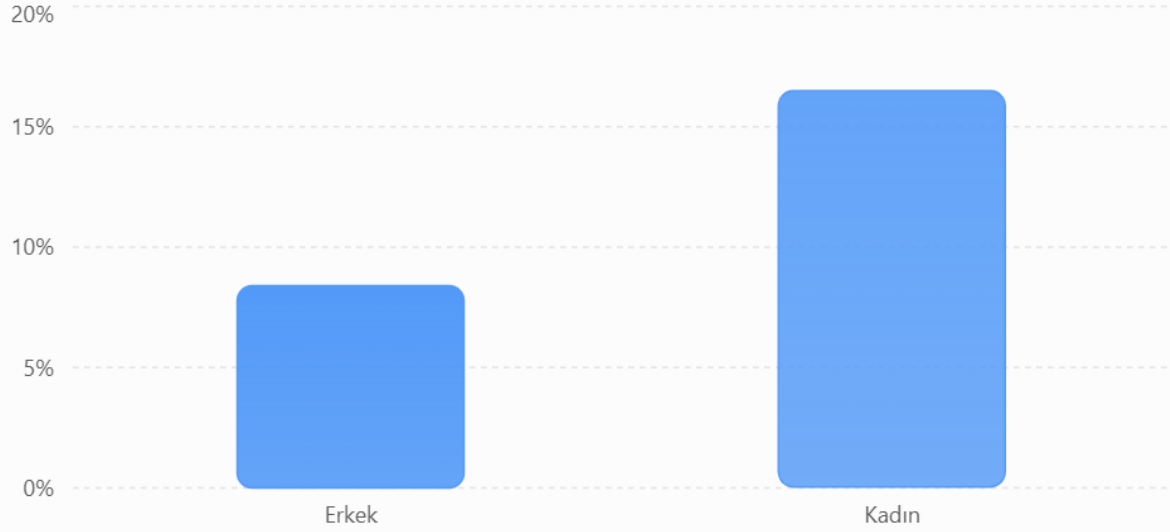


Mevsimlere Göre Hastaneye Yatış Oranları



Cinsiyete Göre Hastaneye Yatış Oranları

Kadın hastalarda hastaneye yatış oranı erkek hastalara göre daha yüksektir (Pearson χ^2 , $p=0,020$).



KAS KÜTLESİNİN YAŞAM BOYU DEĞİŞİMİ VE SARKOPENİ**Rabia DEVECİ PAŞA**

Selçuk üniversitesi sağlık bilimleri fakültesi beslenme ve diyetetik bölümü Konya/Türkiye

ORCID ID: 0009-0005-7197-8801**Prof. Dr. Didem ÖNAY DERİN**

Selçuk üniversitesi sağlık bilimleri fakültesi beslenme ve diyetetik bölümü Konya/Türkiye

ORCID: 0000-0003-0624-5714**ÖZET**

Kas kütlesi, metabolik sağlığın korunması, fiziksel performansın sürdürülmesi ve yaşam kalitesinin artırılmasında önemli rol oynayan temel vücut bileşenlerinden biridir. Yaşamın ilk yıllarında hızla artan kas kütlesi, erişkinlik döneminde en yüksek düzeyine ulaşmakta, ilerleyen yaşla birlikte ise azalma eğilimi göstermektedir. Sarkopeni, yaşa bağlı kas kaybı olarak tanımlanan, dünya genelinde yaşlı nüfusun artmasıyla birlikte giderek daha fazla önem kazanan bir sağlık sorunu hâline gelmiştir.

Sarkopeninin ortaya çıkmasında yaşlanmanın yanı sıra yetersiz fiziksel aktivite, dengesiz beslenme, yetersiz protein alımı, hormonal değişiklikler, kronik inflamasyon ve kronik hastalıklar etkili olmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, sarkopeninin yalnızca kas kütlesindeki azalmayla sınırlı olmadığını, kas gücü ve fiziksel performanstaki düşüşün de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kas sağlığının korunmasına yönelik yaklaşımlar arasında düzenli fiziksel aktivite, özellikle direnç egzersizleri ve yeterli protein tüketimi ön plana çıkmaktadır. Yaşamın erken dönemlerinden itibaren benimsenen sağlıklı yaşam alışkanlıklarının, ileri yaşlarda görülen kas kaybının azaltılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, kas kütlesindeki yaşam boyu değişimlerin izlenmesi ve sarkopeniye yönelik koruyucu stratejilerin geliştirilmesi, sağlıklı yaşlanmanın desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, kas sağlığının korunmasına yönelik multidisipliner yaklaşımların yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Kas kütlesi, sarkopeni, yaşlanma, kas gücü, beslenme

LIFELONG CHANGES IN MUSCLE MASS AND SARCOPENIA**ABSTRACT**

Muscle mass is a fundamental body component that plays a crucial role in maintaining metabolic health, sustaining physical performance, and enhancing quality of life. Muscle mass increases rapidly during the early years of life, peaks in adulthood, and tends to decline with advancing age. Sarcopenia—defined as age-related muscle loss—has become an increasingly significant health issue alongside the global growth of the elderly population. In addition to aging, factors such as insufficient physical activity, an unbalanced diet, inadequate protein intake, hormonal changes, chronic inflammation, and chronic diseases contribute to the development of sarcopenia. Recent studies indicate that sarcopenia is not limited solely to a reduction in muscle mass; declines in muscle strength and physical performance must also be taken into account. Key approaches to preserving muscle health include regular physical activity—particularly resistance exercises—and adequate protein consumption. It is believed that adopting healthy lifestyle habits early in life can help mitigate muscle loss in later years. In conclusion,

monitoring lifelong changes in muscle mass and developing preventive strategies against sarcopenia are vital for promoting healthy aging. Therefore, it is essential to promote multidisciplinary approaches aimed at preserving muscle health.

Keywords: Muscle mass, sarcopenia, aging, muscle strength, nutrition

GİRİŞ

Yaşam boyu kas sağlığının değerlendirilmesinde kemik dokusu ile iskelet kası arasındaki yakın ilişkinin de göz önünde bulundurulması önemlidir. Kas ve kemik dokuları; mekanik yüklenme, fiziksel aktivite, hormonal durum ve beslenme gibi ortak belirleyicilerden etkilenmekte, ileri yaşta kas kütlesi ve gücündeki azalma kemik sağlığındaki bozulmalarla birlikte seyrederek düşme ve kırık riskini artırabilmektedir. Bu nedenle yeterli ve dengeli beslenme, kas dokusunun yanı sıra kemik dokusunun yaşam boyu korunması açısından da önem taşımaktadır (Önay Derin, 2023).

Yaşlanma sürecinde vücut kompozisyonunda meydana gelen değişikliklerin önemli bir bölümünü iskelet kas dokusundaki kayıplar oluşturmaktadır. Kas liflerinin boyut ve sayısındaki ilerleyici azalma yaklaşık 25-30 yaşlarından itibaren başlayabilmekte ve 25-80 yaşları arasında toplam kas kütlesinde yaklaşık %40'a ulaşabilen bir azalma meydana gelebilmektedir. Bu değişim doğrusal değildir ve yaşın ilerlemesiyle birlikte kayıp daha belirgin hâle gelebilmektedir. Ayrıca yaşlanma sırasında kas gücündeki azalmanın kas kütlesindeki azalmadan daha hızlı gerçekleşebildiği gösterilmiştir (Beaudart ve ark., 2017). Bu nedenle yaşlanmaya bağlı kas sağlığının yalnızca sahip olunan kas miktarı üzerinden değerlendirilmesi yeterli değildir.

Yaşla ilişkili kas kütlesi ve fonksiyon kaybının klinik açıdan önem kazanması sarkopeni kavramını ortaya çıkarmıştır. Sarkopeni başlangıçta yaşlanmayla ortaya çıkan kas kütlesi kaybını tanımlamak amacıyla kullanılmış olsa da günümüzde kavram; kas kütlesi, kas gücü ve fiziksel performansı birlikte ele alan daha kapsamlı bir sendrom olarak değerlendirilmektedir (Özbek, 2024). Sarkopeninin düşme, kırılabilirlik, bağımlılık, fonksiyon kaybı, hastaneye yatış ve mortalite gibi ciddi sağlık sonuçlarıyla ilişkili olması, durumun yalnızca yaşlanmanın doğal bir sonucu olarak değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir (Beaudart ve ark., 2017).

KAS KÜTLESİNİN YAŞAM BOYU DEĞİŞİMİ

Janssen ve arkadaşlarının yetişkin kadın ve erkeklerde iskelet kası dağılımını değerlendirdikleri çalışmada, yaş ilerledikçe kas kütlesinin azaldığı ve bu azalmanın özellikle alt ekstremitelerde daha belirgin olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu, yaşa bağlı kas kaybının vücudun bütün bölgelerinde aynı oranda gerçekleşmediğini göstermesi açısından önemlidir. Dolayısıyla yalnızca vücut ağırlığı veya beden kütle indeksinin değerlendirilmesi, kas dokusunda meydana gelen değişiklikleri ortaya koymak açısından yeterli olmayabilir (Janssen ve ark., 2000).

SARKOPENİNİN TANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Kas gücünün değerlendirilmesinde klinik uygulamada en sık kullanılan yöntemlerden biri el kavrama gücüdür. Dinamometre aracılığıyla yapılan bu ölçüm basit, hızlı ve klinik kullanıma uygun olması nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Fiziksel performansın değerlendirilmesinde ise olağan yürüme hızı, sandalyeden oturup kalkma testi, kısa fiziksel

performans bataryası ve zamanlı kalk ve yürü testi gibi yöntemlerden yararlanılabilmektedir. (Özbek, 2024)

Kas kütlelerinin değerlendirilmesinde dual X-ray absorpsiyometri (DXA) ve biyoelektrik impedans analizi (BIA) klinik uygulamalarda kullanılan başlıca yöntemler arasındadır. DXA daha yüksek doğruluğa sahip olmakla birlikte BIA'nın daha ulaşılabilir, taşınabilir ve klinik kullanıma uygun olması önemli bir avantaj sağlamaktadır (Özbek, 2024).

SARC-F ise sarkopeni riskinin belirlenmesinde kullanılabilecek pratik bir tarama aracıdır. Güç, yürümede yardım, sandalyeden kalkma, merdiven çıkma ve düşme olmak üzere beş temel alanı değerlendirmektedir. Bununla birlikte SARC-F doğrudan kas kütlelerini ölçmemekte ve düşük duyarlılığı nedeniyle bazı sarkopeni olgularını kaçırabilmektedir. Buna karşılık özgüllüğünün yüksek olması, klinik uygulamada fonksiyonel bozukluk riski yüksek bireylerin belirlenmesinde yararlı olabileceğini göstermektedir (Bahat ve ark., 2018).

Bu doğrultuda sarkopeninin değerlendirilmesinde tek bir ölçüme dayanmak yerine kas miktarı, kas gücü ve fiziksel performansın birlikte ele alınması daha uygun bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Özbek, 2024).

SARKOPENİNİN SAĞLIK ÜZERİNDEKİ SONUÇLARI

Beaudart ve arkadaşlarının sistematik derleme ve meta-analizinde 17 prospektif çalışma değerlendirilmiş; sarkopeninin mortalite ve fonksiyonel gerileme başta olmak üzere çeşitli olumsuz sağlık sonuçlarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Sarkopenisi bulunan bireylerde mortalite olasılığının sarkopenisi olmayanlara göre yaklaşık 3,6 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada fonksiyonel gerileme olasılığının yaklaşık üç kat daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Sarkopeninin düşme ve hastaneye yatış sıklığındaki artışla da ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bu bulgular sarkopeninin yalnızca vücut kompozisyonundaki bir değişiklik olmadığını, bireyin bağımsızlığını ve yaşam kalitesini etkileyebilen önemli bir klinik durum olduğunu göstermektedir. (Beaudart ve ark., 2017).

BESLENME VE KAS SAĞLIĞI

Beslenme, yaşam boyunca kas kütlelerinin korunması ve sarkopeninin önlenmesinde fiziksel aktiviteyle birlikte temel değiştirilebilir faktörlerden biridir. İleri yaşlarda yetersiz enerji ve protein alımı kas protein sentezinin azalmasına katkıda bulunabilmektedir. Uzun süreli yetersiz enerji alımı ise kas dokusunun korunmasını güçleştirebilmektedir. Bu nedenle beslenme müdahalelerinde yalnızca protein miktarına değil, toplam enerji yeterliliğine ve genel diyet kalitesine de dikkat edilmelidir. (Bayram ve Güneş, 2020).

Protein ve aminoasitler kas protein sentezinin sürdürülmesinde temel öneme sahiptir. Yaşlanmayla birlikte kas dokusunun protein alımına verdiği anabolik yanıtın azalması nedeniyle yaşlı bireylerin yeterli miktarda ve yüksek kaliteli protein tüketmesi önem kazanmaktadır. Sağlıklı yaşlı bireylerde günlük yaklaşık 1,0-1,2 g/kg protein alımının önerilebileceği bildirilmektedir. Hastalık veya artmış gereksinim durumlarında ise gereksinimin daha yüksek olabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte protein gereksiniminin bireyin hastalık durumu, enerji alımı ve böbrek fonksiyonları gibi faktörler göz önünde bulundurularak bireyselleştirilmesi gerekmektedir. (Bayram ve Güneş, 2020).

Proteinin gün içerisindeki dağılımı da kas protein sentezinin uyarılması açısından önem taşıyabilir. Özellikle lösin, kas protein sentezini uyarıcı temel aminoasitlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte tek bir aminoasit veya takviyeye odaklanmak yerine yeterli enerji

ve protein sağlayan dengeli bir beslenme örüntüsünün oluşturulması öncelikli olmalıdır (Bayram ve Güneş, 2020).

D vitamini kas fonksiyonuyla ilişkili besin öğelerinden biridir. Ancak D vitamini takviyesinin kas gücü üzerindeki etkisi bireyin başlangıç D vitamini durumuna bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Stockton ve arkadaşlarının 17 randomize kontrollü çalışmayı ve 5.072 katılımcıyı içeren sistematik derleme ve meta-analizinde, başlangıç 25(OH)D düzeyi 25 nmol/L'nin üzerinde olan yetişkinlerde D vitamini takviyesinin kavrama gücü veya proksimal alt ekstremita kas gücünde anlamlı bir artış sağlamadığı bildirilmiştir. Buna karşılık D vitamini eksikliği bulunan katılımcıları değerlendiren sınırlı sayıdaki çalışmada proksimal kas gücünde iyileşme gözlenmiştir. (Stockton ve ark., 2011). Dolayısıyla D vitamininin sarkopeniyi önlemek amacıyla rutin olarak herkese verilmesinden ziyade eksikliğin belirlenmesi ve gerekli durumlarda düzeltilmesi daha uygun bir yaklaşım olarak görünmektedir.

Omega-3 yağ asitlerinin inflamatuvar süreçler ve kas protein metabolizması üzerindeki olası etkileri nedeniyle sarkopeni açısından potansiyel yararları araştırılmaktadır. Benzer şekilde kreatinin özellikle direnç egzersiziyle birlikte kullanıldığında kas kütlesi ve kas gücünün desteklenmesine katkıda bulunabileceğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte bu bileşenlerin etkileri bireyler ve çalışmalar arasında farklılık gösterebildiğinden sarkopeninin önlenmesinde temel beslenme ve egzersiz yaklaşımlarının yerini almamalıdır. (Bayram ve Güneş, 2020).

Probiyotik, prebiyotik ve sinbiyotiklerin bağırsak-kas eksenini üzerinden kas sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri de son yıllarda araştırılan konular arasındadır. Bağırsak mikrobiyotasındaki değişikliklerin inflamasyon, metabolik süreçler ve besin öğelerinin kullanılabilirliğini etkileyerek kas sağlığına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Bayram ve Güneş, 2020). Ancak mevcut kanıtların sınırlı olması nedeniyle bu alanda daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Beslenme ve egzersiz müdahalelerinin birlikte uygulanması kas sağlığının korunmasında özellikle önemlidir. Egzersizin kas protein sentezini uyarması ve yeterli protein ile enerji alımının bu adaptasyonu desteklemesi nedeniyle iki yaklaşım birbirini tamamlamaktadır. Bu doğrultuda yaşamın erken dönemlerinden itibaren düzenli fiziksel aktivitenin sürdürülmesi, ileri yaşlarda direnç egzersizlerine yer verilmesi ve yeterli, dengeli bir beslenme örüntüsünün benimsenmesi sarkopeninin önlenmesi ve yönetiminde temel stratejiler arasında yer almaktadır (Bayram ve Güneş, 2020).

SONUÇ

Sarkopeni bu sürecin klinik açıdan önemli sonuçlarından biri olmakla birlikte yalnızca yaşlanmaya bağlı kas kütlesi azalması olarak değerlendirilmemelidir. Güncel yaklaşım kas kütlesi, kas gücü ve fiziksel performansın birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir (Cruz-Jentoft ve ark., 2019). Sarkopeninin mortalite, fonksiyonel gerileme, düşme ve hastaneye yatış gibi ciddi sonuçlarla ilişkili olması erken tanı ve koruyucu müdahalelerin önemini artırmaktadır (Beaudart ve ark., 2017).

Sonuç olarak kas kütlesindeki yaşam boyu değişimlerin izlenmesi, kas kaybının mümkün olduğunca erken fark edilmesi ve kas miktarının yanı sıra kas gücü ile fiziksel performansın korunmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi sağlıklı yaşlanmanın önemli bileşenlerindendir. Sarkopeninin çok faktörlü yapısı göz önünde bulundurulduğunda yeterli ve dengeli beslenme,

düzenli fiziksel aktivite, direnç egzersizleri ve gerektiğinde bireye özgü beslenme desteğini içeren multidisipliner yaklaşımların yaşam boyunca kas sağlığının korunmasında benimsenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Bahat, G., Ören, M. M., Yılmaz, O., Kılıç, C., Aydın, K., & Karan, M. A. (2018). Comparing SARC-F with SARC-CalF to screen sarcopenia in community living older adults. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 22(9), 1034–1038. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1072-y>
- Bal Ayyıldız, Z., & Önay Derin, D. (2022). Sarkopeni tanımlanması ve güncel tedavi yaklaşımları. In D. Önay Derin (Ed.), *Sağlık Bilimleri Alanında Uluslararası Araştırmalar VIII* (ss. 115–136). Eğitim Yayınevi. ISBN 978-625-8341-49-2.
- Bayram, H. M., & Güneş, F. (2020). Sarkopeni ve beslenme yaklaşımı. *Geriatik Bilimler Dergisi*, 3(1), 27–36. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geriatrik/article/699252>
- Beaudart, C., Zaaria, M., Pasleau, F., Reginster, J.-Y., & Bruyère, O. (2017). Health outcomes of sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 12(1), e0169548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169548>
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., et al. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- Çam, Y. E., & Önay Derin, D. (2026). Sporcularda β -hidroksi- β -metilbütirat (HMB) kullanımının fiziksel performans üzerine etkileri: Kapsamlı bir inceleme. *Abant Sağlık Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 6(1), 59–71. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sabited/article/1836109>
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z. M., & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 81–88. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.81>
- Önay Derin, D. (Ed.). (2023). *Beslenme ve Ağız, Diş, Kemik Sağlığı. Eğiten Kitap*. ISBN 978-625-6946-31-6.
- Özbek, İ. C. (2024). Yaşlılarda sarkopeninin klinik pratikte tanı ve değerlendirme yöntemleri. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 500–502. <https://doi.org/10.34087/cbusbed.1578569>
- Stockton, K. A., Mengersen, K. L., Paratz, J. D., Kandiah, D. A., & Bennell, K. L. (2011). Effect of vitamin D supplementation on muscle strength: A systematic review and meta-analysis. *Osteoporosis International*, 22(3), 859–871. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1407-y>

POLİKİSTİK OVER SENDROMUNDA KRONOBESLENME: SİRKADİYEN RİTİM, UYKU VE METABOLİK SAĞLIĞIN GÜNCEL KANITLAR IŞIĞINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Rabia DEVECİ PAŞA

Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Konya/Türkiye
ORCID ID: 0009-0005-7197-8801

Prof. Dr. Didem ÖNAY DERİN

Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Konya/Türkiye
ORCID: 0000-0003-0624-5714

ÖZET

Polikistik over sendromu (PKOS), üreme çağındaki kadınlarda en sık görülen endokrin bozukluklardan biri olup hiperandrojenizm, ovulasyon bozuklukları, insülin direnci ve obezite gibi çok sayıda metabolik sorunla ilişkilendirilmektedir. Son yıllarda, PKOS'un yalnızca hormonal bir hastalık olmadığı, aynı zamanda sirkadiyen ritimde meydana gelen değişikliklerle yakından ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Uyku süresi ve kalitesindeki bozulmalar, melatonin salınımındaki değişiklikler, düzensiz beslenme alışkanlıkları ve geç saatlerde enerji alımı, PKOS'un metabolik sonuçlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Kronobeslenme, besin tüketiminin zamanlaması ile organizmanın biyolojik ritmi arasındaki ilişkiyi inceleyen güncel bir yaklaşımdır. Öğün zamanlamasının glukoz metabolizması, enerji dengesi, hormonal düzen ve inflamatuvar süreçler üzerinde önemli etkilerinin bulunduğu bildirilmektedir. Özellikle geç saatlerde besin tüketiminin insülin direncini artırdığı, buna karşılık enerjinin günün erken saatlerinde tüketilmesinin metabolik parametrelerde iyileşme sağlayabildiği gösterilmiştir. Ayrıca zaman kısıtlı beslenme ve sirkadiyen ritme uygun beslenme modellerinin PKOS yönetiminde potansiyel yararlar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu derleme çalışmasının amacı, polikistik over sendromunda sirkadiyen ritim, uyku ve kronobeslenme arasındaki ilişkinin güncel kanıtlar doğrultusunda değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, ulusal ve uluslararası literatürde yer alan çalışmalar incelenerek öğün zamanlaması, uyku düzeni ve beslenme davranışlarının PKOS'un metabolik ve hormonal bileşenleri üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Mevcut kanıtlar, PKOS tedavisinde beslenme müdahalelerinin yalnızca diyet içeriğiyle sınırlandırılmaması gerektiğini, besin tüketim zamanının da bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının önemli bir bileşeni olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Polikistik over sendromu, kronobeslenme, sirkadiyen ritim, uyku, metabolik sağlık

CHRONONUTRITION IN POLYCYSTIC OVARY SYNDROME: AN EVALUATION OF CIRCADIAN RHYTHM, SLEEP, AND METABOLIC HEALTH IN LIGHT OF CURRENT EVIDENCE

ABSTRACT

Polycystic ovary syndrome (PCOS) is one of the most common endocrine disorders among women of reproductive age and is associated with numerous metabolic issues, such as hyperandrogenism, ovulatory dysfunction, insulin resistance, and obesity. Recent years have revealed that PCOS is not merely a hormonal disorder but is also closely linked to alterations in circadian rhythms. Disruptions in sleep duration and quality, changes in melatonin secretion, irregular eating habits, and late-night energy intake can adversely affect the metabolic outcomes of PCOS.

Chrononutrition is a contemporary approach that examines the relationship between the timing of food intake and the organism's biological rhythm. Meal timing has been reported to have significant effects on glucose metabolism, energy balance, hormonal regulation, and inflammatory processes. Specifically, it has been shown that late-night food consumption increases insulin resistance, whereas consuming energy earlier in the day can lead to improvements in metabolic parameters. Furthermore, it is suggested that time-restricted eating and dietary patterns aligned with circadian rhythms may offer potential benefits in the management of PCOS.

The aim of this review is to evaluate the relationship between circadian rhythm, sleep, and chrononutrition in polycystic ovary syndrome in light of current evidence. In this context, studies from the national and international literature were reviewed to discuss the effects of meal timing, sleep patterns, and eating behaviors on the metabolic and hormonal components of PCOS. Current evidence indicates that nutritional interventions for PCOS should not be limited solely to dietary composition; the timing of food intake may also be a significant component of individualized treatment approaches.

Keywords: Polycystic ovary syndrome, chrononutrition, circadian rhythm, sleep, metabolic health

1. GİRİŞ

Polikistik over sendromu (PKOS), üreme çağındaki kadınlarda görülen en yaygın endokrin-metabolik bozukluklardan biridir. Klinik olarak ovulatuvar disfonksiyon, klinik ve/veya biyokimyasal hiperandrogenizm ve polikistik over morfolojisi ile karakterize olan bu sendrom, yalnızca üreme sistemini değil, aynı zamanda metabolik sağlığı da etkileyen karmaşık bir hastalık olarak kabul edilmektedir. Teede ve ark. (2023), PKOS'un üreme çağındaki kadınların yaklaşık %10-13'ünü etkilediğini ve birçok olgunun tanı almadan yaşamını sürdürdüğünü bildirmiştir. Bu nedenle güncel yaklaşım, PKOS'un yalnızca jinekolojik bir hastalık olarak değil, yaşam boyu etkileri olan çok sistemli bir bozukluk olarak değerlendirilmesini önermektedir.

PKOS'un patofizyolojisi oldukça karmaşıktır ve genetik yatkınlık, hiperandrojenizm, insülin direnci, kronik inflamasyon ve çevresel faktörler arasındaki etkileşimle şekillenmektedir. Özellikle insülin direnci ve buna eşlik eden hiperinsülinemi, overlerde androjen sentezini artırırken karaciğerde seks hormonu bağlayıcı globülin (sex hormone-binding globulin; SHBG) üretimini azaltmaktadır. Sonuç olarak dolaşımdaki serbest androjen düzeyleri yükselmekte, bu durum da hiperandrojenik belirtilerin şiddetlenmesine katkıda bulunmaktadır (Teede ve ark., 2023).

Son yıllarda araştırmalar, PKOS'un yalnızca hormonal ve metabolik mekanizmalarla açıklanamayacağını, sirkadiyen ritim olarak tanımlanan biyolojik zamanlama sisteminin de hastalığın ortaya çıkışında ve ilerlemesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Sirkadiyen ritim; hormon salgılanması, enerji metabolizması, uyku-uyanıklık döngüsü, iştah kontrolü ve beslenme davranışlarının yaklaşık 24 saatlik bir döngü içerisinde düzenlenmesini sağlayan endojen bir sistemdir. Merkezi biyolojik saat hipotalamusta bulunan suprakiazmatik çekirdekte yer alırken, karaciğer, pankreas, yağ dokusu ve overler gibi periferik dokular da kendi biyolojik saatlerine sahiptir (Heydari ve Ramdass, 2025).

PKOS ile sirkadiyen ritim arasındaki ilişkiye yönelik en güçlü kanıtlardan biri, Heydari ve Ramdass (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizden elde edilmiştir. Araştırmacılar, PKOS'lu kadınlarda melatonin düzeylerinin daha yüksek, akşam kortizol düzeylerinin daha belirgin ve uyku verimliliğinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, sirkadiyen ritim bozukluğunun PKOS'un metabolik ve endokrin özellikleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Uyku bozuklukları da PKOS'un klinik görünümünü etkileyen önemli faktörlerden biridir. Zhang ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, PKOS'lu kadınlarda uyku bozukluklarının daha sık görüldüğü ve bozulmuş uyku kalitesinin kardiyovasküler risk faktörleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde, Wang ve ark. (2022) da PKOS ile uyku bozuklukları arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, uyku sağlığının PKOS'un metabolik değerlendirmesine dâhil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sirkadiyen ritim ile ilişkili bir diğer kavram kronotiptir. Kronotip, bireyin uyuma, uyanma ve günlük aktivitelerini gerçekleştirme zamanına ilişkin biyolojik eğilimini ifade etmektedir. Barrea ve ark. (2022), akşam kronotipine sahip PKOS'lu kadınlarda insülin direncinin daha belirgin olduğunu, fiziksel aktivite düzeyinin daha düşük olduğunu ve sağlıklı beslenme davranışlarının daha sık görüldüğünü bildirmiştir. Araştırmacılar, kronotip değerlendirmesinin beslenme danışmanlığı sürecine entegre edilmesinin yararlı olabileceğini vurgulamıştır.

Bu noktada kronobeslenme (chrononutrition) kavramı öne çıkmaktadır. Kronobeslenme, yalnızca tüketilen besinlerin türünü değil, aynı zamanda tüketildikleri zamanı, öğünlerin sıklığını ve günlük enerji dağılımını da değerlendiren bir yaklaşımdır. Besin alımı, periferik biyolojik saatler için güçlü bir zamanlayıcı görevi görmektedir ve özellikle geç saatlerde gerçekleştirilen besin tüketimi metabolik dengeyi olumsuz etkileyebilmektedir (Raji ve ark., 2024).

PKOS'ta öğün zamanlamasını doğrudan inceleyen klinik çalışmalar, enerji alımının gün içerisindeki dağılımının metabolik ve hormonal göstergelerle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Jakubowicz ve ark. (2013), enerjinin günün erken saatlerinde yoğunlaştırıldığı bir beslenme örüntüsünün PKOS'lu kadınlarda metabolik ve endokrin sonuçlar açısından yararlı olabileceğini göstermiştir.

Zaman kısıtlı beslenme (time-restricted feeding/eating; TRF/TRE) uygulamaları da PKOS'ta araştırılmaktadır. Li ve ark. (2021) tarafından yürütülen altı haftalık çalışmada sekiz saatlik beslenme penceresiyle olumlu metabolik ve endokrin değişiklikler bildirilmiş olmakla birlikte, kanıtların sınırlı örneklem ve kısa izlem sürelerine dayanması nedeniyle daha uzun süreli randomize kontrollü çalışmalara gereksinim vardır.

Son yıllarda yayımlanan uluslararası kılavuzlar, yaşam tarzı müdahalelerinin PKOS tedavisinin temel bileşenlerinden biri olduğunu vurgulamaktadır. Bununla birlikte, mevcut beslenme önerilerinin büyük bölümü diyet bileşimine odaklanırken, besin tüketiminin zamanlaması çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Sirkadiyen biyoloji alanındaki güncel gelişmeler, metabolik süreçlerin günün farklı zaman dilimlerinde farklı fizyolojik yanıtlar oluşturabildiğini göstermektedir. Bu nedenle kronobeslenme yaklaşımının PKOS yönetimindeki yerinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir (Teede ve ark., 2023; Raji ve ark., 2024). Bu çalışmanın amacı, PKOS'ta sirkadiyen ritim, uyku ve kronobeslenme arasındaki ilişkiyi güncel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmek ve metabolik sağlığa yönelik olası klinik uygulamaları tartışmaktır.

2. PKOS Patofizyolojisinde Sirkadiyen Ritmin Rolü

Polikistik over sendromunun (PKOS) patofizyolojisi, uzun yıllar boyunca hiperandrojenizm, insülin direnci ve genetik yatkınlık ekseninde açıklanmaya çalışılmıştır. Günümüzde ise PKOS'un yalnızca üreme sistemini etkileyen bir hastalık olmadığı; endokrin, metabolik ve kronobiyolojik mekanizmaların etkileşimi sonucunda ortaya çıkan heterojen bir sendrom olduğu kabul edilmektedir (Teede ve ark., 2023).

Son kanıtlar, melatonin, kortizol ve uyku verimliliğindeki değişimlerin PKOS patofizyolojisiyle ilişkili olduğunu; merkezi ve periferik biyolojik saatler arasındaki uyumsuzluğun metabolik bozuklukları şiddetlendirebildiğini göstermektedir (Heydari ve Ramdass, 2025; Singh ve Maurya, 2025).

İnsülin direnci, PKOS'un temel patofizyolojik mekanizmalarından biridir. Hiperinsülinemi, overlerin teka hücrelerinde androjen sentezini uyarırken, karaciğerde seks hormonu bağlayıcı globülin (sex hormone-binding globulin; SHBG) sentezini baskılamaktadır. Bunun sonucunda dolaşımdaki serbest androjen düzeyleri artmakta ve hiperandrojenizm daha belirgin hâle gelmektedir (Teede ve ark., 2023). Ayrıca insülin direnci; glukoz homeostazının bozulmasına, yağ dokusunda lipolizin artmasına, kronik düşük dereceli inflamasyonun ortaya çıkmasına ve kardiyometabolik riskin yükselmesine katkıda bulunmaktadır (Di Lorenzo ve ark., 2023).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, sirkadiyen ritim bozukluklarının da PKOS'un metabolik özelliklerini etkileyebileceğini göstermiştir. Sirkadiyen ritim, organizmanın yaklaşık 24 saatlik ışık-karanlık döngüsüne uyum sağlamasını mümkün kılan endojen bir zamanlama sistemidir.

Hipotalamusta bulunan suprakiazmatik çekirdek, merkezi biyolojik saat olarak görev yaparken; karaciğer, pankreas, gastrointestinal sistem, yağ dokusu ve overler gibi periferik dokular da kendi biyolojik saatlerine sahiptir (Heydari ve Ramdass, 2025).

Moleküler düzeyde sirkadiyen ritim; CLOCK (Circadian Locomotor Output Cycles Kaput), BMAL1 (Brain and Muscle ARNT-Like 1), PER (Period) ve CRY (Cryptochrome) genleri tarafından düzenlenmektedir. Bu genler, transkripsiyonel ve translasyonel geri bildirim mekanizmaları aracılığıyla biyolojik olayların zamanlamasını kontrol etmektedir. Glukoz metabolizması, insülin sekresyonu, enerji dengesi, steroid hormon sentezi ve ovulasyon süreçleri de bu moleküler saat mekanizmalarından etkilenmektedir (Heydari ve Ramdass, 2025). Son yıllarda yapılan çalışmalar, sirkadiyen saat genlerindeki değişimlerin yalnızca metabolik süreçleri değil, aynı zamanda over fonksiyonlarını da etkileyebileceğini göstermektedir. CLOCK ve BMAL1 genlerindeki düzensizliklerin folikül gelişimi, steroidogenez ve ovulasyon süreçlerinde rol oynadığı bildirilmiştir. Deneysel veriler, sirkadiyen sistem ile üreme fonksiyonları arasındaki ilişkinin moleküler düzeyde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, PKOS'un kronobiyojik açıdan değerlendirilmesi, hastalığın patofizyolojisinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir (Sellix, 2015; Heydari ve Ramdass, 2025).

Hipotalamus-hipofiz-over eksenini ile sirkadiyen sistem arasındaki etkileşim, PKOS'un kronobiyojik açıdan değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Gonadotropin salgılatıcı hormon (gonadotropin-releasing hormone; GnRH) salınımındaki ritmik değişiklikler, luteinizan hormon (luteinizing hormone; LH) ve folikül uyarıcı hormonun (follicle-stimulating hormone; FSH) salgılanmasını doğrudan etkilemektedir. Bu eksenindeki düzensizliklerin, ovulasyon bozukluklarına ve androjen üretimindeki artışa katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Teede ve ark., 2023).

Melatonin, sirkadiyen sistem ile üreme fonksiyonları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde öne çıkan biyobelirteçlerden biridir. Karanlık dönemde pineal bezden salgılanan melatonin, yalnızca uyku-uyanıklık döngüsünü düzenlemekle kalmamakta; aynı zamanda antioksidan savunma mekanizmalarında, foliküler gelişimde ve over fonksiyonlarının düzenlenmesinde de rol oynamaktadır. Heydari ve Ramdass (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, PKOS'lu kadınlarda melatonin düzeylerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Simon ve ark. (2019), obezitesi ve PKOS'u bulunan adolesan kızlarda gerçekleştirdikleri çalışmada, melatonin ritmindeki gecikmenin insülin duyarlılığındaki azalma ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, özellikle sabah saatlerinde ortaya çıkan sirkadiyen uyumsuzluğun metabolik bozuklukların şiddetlenmesine katkıda bulunabileceğini bildirmiştir.

Sirkadiyen ritim bozukluklarının yalnızca hormonal düzeni değil, aynı zamanda hipotalamus-hipofiz-adrenal eksenini (hypothalamic-pituitary-adrenal axis; HPA eksenini) de etkileyebileceği gösterilmiştir. Kortizol ritmindeki değişiklikler, glukoz metabolizmasının bozulmasına ve insülin direncinin artmasına neden olabilmektedir. Heydari ve Ramdass (2025), PKOS'lu kadınlarda akşam kortizol düzeylerinin daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Ulusal literatürde de sirkadiyen ritmin metabolik sağlık ve beslenme davranışlarıyla ilişkisi ele alınmaktadır. Öney ve Balcı (2021), sirkadiyen ritmin uyku-uyanıklık döngüsünün yanı sıra glukoz metabolizması, iştah ve beslenme davranışlarının düzenlenmesinde rol oynadığını belirtmiştir. Bu değerlendirmeler, PKOS'ta görülen insülin direnci ve metabolik düzensizliklerin ele alınmasında sirkadiyen ritmin göz önünde bulundurulmasını desteklemektedir.

Orkun Erkilic ve ark. (2025), kronobeslenmeyi metabolik hastalıkların önlenmesi ve yönetiminde sirkadiyen ritimle uyumlu öğün zamanlamasına dayanan yeni bir yaklaşım olarak ele almıştır. Derlemede özellikle erken zaman kısıtlı beslenme modellerinin metabolik sağlık açısından potansiyel yararları tartışılmıştır. Bununla birlikte, bu yaklaşımın PKOS'a özgü etkinliğinin belirlenmesi için doğrudan klinik kanıtlara ihtiyaç vardır.

3. Uyku, Kronotip ve Metabolik Sağlık

Uyku, metabolik homeostazın korunmasında temel fizyolojik süreçlerden biridir. Uyku süresi, uyku kalitesi, uyku zamanlaması ve sirkadiyen uyum; enerji metabolizması, glukoz homeostazı, iştah kontrolü ve hormonal düzenleme üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, uyku bozukluklarının polikistik over sendromunun (PKOS) klinik görünümünü etkileyen önemli çevresel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir (Teede ve ark., 2023).

PKOS'lu kadınlarda uyku sorunlarının genel popülasyona göre daha yaygın olduğu bildirilmektedir. Uykuya dalmada güçlük, uyku bölünmesi, gündüz uykululuğu, yetersiz uyku kalitesi ve uyku verimliliğinde azalma, PKOS'ta en sık tanımlanan sorunlar arasında yer almaktadır. Zhang ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, PKOS'lu kadınlarda uyku bozukluklarının yaygın olduğu ve bu bozuklukların kardiyovasküler risk faktörleriyle ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Uyku ile metabolik sağlık arasındaki ilişki çift yönlüdür (Zhang ve ark., 2022). Melatonin düzeylerindeki değişikliklerin yalnızca uyku-uyanıklık döngüsünü etkilemediği, aynı zamanda insülin sekresyonu, glukoz metabolizması ve oksidatif stres mekanizmalarında da önemli bir rol oynadığı bildirilmektedir. Melatonin reseptörlerinin pankreasta ve over dokusunda bulunması, bu hormonun metabolik ve üreme fonksiyonları üzerindeki etkisini desteklemektedir. Bu nedenle, uyku hijyenine yönelik müdahalelerin PKOS tedavisinde tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmesi önerilmektedir (Cipolla-Neto ve Amaral, 2018; Zhang ve ark., 2022). Uyku bozuklukları, metabolik süreçleri etkileyebildiği gibi, metabolik bozukluklar da uyku kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yetersiz uyku; hipotalamus-hipofiz-adrenal eksenin (hypothalamic-pituitary-adrenal axis; HPA eksen) aktivasyonuna, sempatik sinir sistemi aktivitesinde artışa ve kortizol ritminde bozulmaya neden olabilmektedir. Bu süreç, insülin duyarlılığının azalmasına ve glukoz metabolizmasının bozulmasına yol açabilmektedir (Zhang ve ark., 2022).

Ayrıca uyku süresindeki azalma, iştahın düzenlenmesinde görev alan leptin ve grelin hormonlarını da etkileyebilmektedir. Kısa uyku süresinin leptin düzeylerini azaltırken grelin düzeylerini artırdığı, bunun da enerji alımında artışa ve vücut ağırlığının yükselmesine katkıda bulunduğu bildirilmektedir (Teede ve ark., 2023). Bu

mekanizmalar, PKOS'ta sıklıkla görülen obezite ve insülin direncinin şiddetlenmesine neden olabilmektedir.

PKOS'ta özellikle obstrüktif uyku apnesi (obstructive sleep apnea; OSA) önemli bir klinik sorun olarak kabul edilmektedir. OSA, uyku sırasında üst solunum yolunun tekrarlayan şekilde daralması veya kapanması sonucunda ortaya çıkan bir uyku bozukluğudur. Abdul Jafar ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, PKOS'lu kadınlarda OSA riskinin anlamlı düzeyde arttığı gösterilmiştir. Araştırmacılar, obezitenin bu ilişkide önemli bir rol oynadığını, ancak vücut kütle indeksinden bağımsız olarak da uyku bozukluklarının değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Uluslararası kanıta dayalı PKOS kılavuzu da benzer şekilde, horlama, gündüz yorgunluğu, sabah baş ağrısı ve uyku bölünmesi gibi belirtilerin varlığında OSA açısından değerlendirme yapılmasını önermektedir (Teede ve ark., 2023).

Uyku süresi kadar uyku kalitesi de metabolik sağlık açısından önemlidir. Oberg ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, fazla kilolu ve obez PKOS'lu kadınlarda toplam uyku süresinin kontrol grubuna benzer olmasına rağmen, uyku verimliliğinin daha düşük olduğu ve gece uyanmalarının daha sık görüldüğü bildirilmiştir. Bu bulgu, toplam uyku süresinin tek başına yeterli bir değerlendirme ölçütü olmadığını göstermektedir.

Uyku kalitesi ile kronotip arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi, bireyselleştirilmiş beslenme yaklaşımlarının planlanmasına katkı sağlayabilir. Son çalışmalar, sabah kronotipinin PKOS riskiyle ilişkili olabileceğini bildirmektedir (Patel ve Cheung, 2025; Dilimulati ve ark., 2025).

Sirkadiyen ritimle ilişkili bir diğer önemli kavram kronotiptir. Kronotip, bireyin biyolojik olarak günün hangi saatlerinde daha aktif olduğunu ifade etmektedir. Genel olarak bireyler sabah tipi, akşam tipi veya ara tip olarak sınıflandırılmaktadır.

Barrea ve ark. (2022), PKOS'lu kadınlarda kronotip ile beslenme davranışları arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Araştırmacılar, akşam kronotipine sahip kadınlarda insülin direncinin daha belirgin olduğunu, fiziksel aktivite düzeyinin daha düşük olduğunu ve Akdeniz tipi beslenmeye uyumun daha zayıf olduğunu göstermiştir.

Akşam kronotipi aynı zamanda geç saatlerde yemek yeme, kahvaltıyı atlama ve düzensiz öğün örüntüleriyle de ilişkilendirilmektedir. Bu durum, glukoz toleransında bozulmaya, postprandiyal glukoz düzeylerinde yükselmeye ve enerji dengesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Raji ve ark., 2024).

Ulusal literatürde de uyku, sirkadiyen ritim ve beslenme zamanlaması arasındaki ilişkinin önemine dikkat çekilmektedir. Öney ve Balcı (2021), uyku-uyanıklık döngüsündeki değişikliklerin endokrin ve metabolik süreçleri etkileyebileceğini; sirkadiyen ritimle uyumsuz yaşam biçiminin metabolik sağlık üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceğini vurgulamıştır.

Son yıllarda dijital sağlık teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte aktigrafi, giyilebilir sensörler ve akıllı saatler; uyku süresi, uyku verimliliği ve fiziksel aktivite gibi değişkenlerin eş zamanlı

izlenmesini kolaylaştırmıştır. Bu araçlar, kronotip ve öğün zamanlamasının daha ayrıntılı değerlendirilmesine yardımcı olabilir; ancak PKOS'ta kronotipe özgü beslenme müdahalelerinin klinik etkinliğini artırdıklarını gösteren doğrudan kanıtlar henüz sınırlıdır.

4. Kronobeslenme, Öğün Zamanlaması ve Yeni Klinik Yaklaşımlar

Kronobeslenme (chrononutrition), besin tüketiminin yalnızca içeriğini değil, aynı zamanda öğünlerin zamanlamasını, sıklığını, düzenini ve gün içerisindeki dağılımını değerlendiren bir yaklaşımdır. Son yıllarda beslenme zamanlamasının metabolik sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin kanıtların artmasıyla birlikte, kronobeslenme kavramı polikistik over sendromunun (PKOS) yönetiminde de önemli bir araştırma alanı hâline gelmiştir (Raji ve ark., 2024). Besin alımının, periferik biyolojik saatler için güçlü bir zamanlayıcı (zeitgeber) olduğu bilinmektedir. Raji ve ark. (2024), öğün zamanlamasının glukoz metabolizması, insülin duyarlılığı ve kardiyometabolik sağlık üzerinde belirleyici bir rol oynadığını vurgulamıştır.

4.1. Öğün Zamanlaması ve Enerji Dağılımı

Son yıllarda yapılan çalışmalar, toplam enerji alımından çok enerjinin gün içerisindeki dağılımının metabolik sağlık üzerinde belirleyici olabileceğini göstermektedir. Raji ve ark. (2024), günlük enerji alımının erken saatlerde yoğunlaştırılmasının daha iyi metabolik sonuçlarla ilişkili olduğunu bildirmiştir.

PKOS'ta öğün zamanlamasını doğrudan inceleyen en önemli çalışmalardan biri Jakubowicz ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, günlük enerjinin büyük bölümünü kahvaltıda tüketen kadınlarda, akşam öğününde yüksek enerji tüketen kadınlara kıyasla daha düşük açlık insülini düzeyleri, daha düşük serbest testosteron düzeyleri ve daha yüksek seks hormonu bağlayıcı globülin (sex hormone-binding globulin; SHBG) düzeyleri saptamıştır (Jakubowicz ve ark., 2013). Aynı çalışmada, yüksek enerjili kahvaltı tüketen grupta ovulasyon oranlarının da anlamlı düzeyde arttığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, bu etkinin vücut ağırlığındaki değişimden bağımsız olarak ortaya çıktığını göstermiştir (Jakubowicz ve ark., 2013).

Ulusal literatürde kronobeslenme ve sirkadiyen ritim ilişkisi de ele alınmaktadır. Öney ve Balcı (2021), öğün zamanlamasının biyolojik ritimle uyumunun metabolik düzen açısından önemine dikkat çekmiş; Orkun Erkalıç ve ark. (2025) ise sirkadiyen ritme uyumlu beslenme modellerini metabolik hastalıkların önlenmesi ve yönetimi bağlamında değerlendirmiştir.

4.2. Gece Yeme Davranışı ve Metabolik Sonuçlar

Geç saatlerde beslenme, sirkadiyen sistem ile metabolik süreçler arasındaki uyumun bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle akşam saatlerinde glukoz toleransının azalması, aynı miktarda enerji tüketilmesine rağmen daha yüksek postprandiyal glukoz yanıtlarının ortaya çıkmasına yol açabilmektedir (Raji ve ark., 2024). Raji ve ark. (2024), gece saatlerinde gerçekleşen enerji alımının insülin direnci, dislipidemi ve obezite ile ilişkili olduğunu bildirmiştir.

PKOS'ta kronotip ile beslenme davranışları arasındaki ilişkiyi inceleyen Barrea ve ark. (2022), akşam kronotipine sahip kadınlarda daha düzensiz beslenme örüntülerinin bulunduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, akşam kronotipine sahip bireylerde Akdeniz tipi beslenmeye

uyumun daha düşük olduğunu ve metabolik profilin daha olumsuz seyrettiğini bildirmiştir (Barrea ve ark., 2022).

Öney ve Balcı (2021) da sirkadiyen ritmin iştah kontrolü, enerji dengesi ve beslenme davranışları üzerindeki etkilerine dikkat çekmiştir. Araştırmacılar, biyolojik ritimle uyumlu olmayan beslenme davranışlarının metabolik sağlığı olumsuz etkileyebileceğini belirtmiştir (Öney ve Balcı, 2021).

4.3. Zaman Kısıtlı Beslenme

Zaman kısıtlı beslenme (time-restricted feeding; TRF), günlük besin tüketiminin belirli bir zaman aralığıyla sınırlandırıldığı bir beslenme modelidir. Bu yaklaşımın temel amacı, besin alımını sirkadiyen ritimle uyumlu hâle getirmektir (Li ve ark., 2021). Li ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen altı haftalık klinik çalışmada, sekiz saatlik beslenme penceresinin PKOS'lu kadınlarda önemli metabolik iyileşmeler sağladığı gösterilmiştir. Araştırmacılar; vücut ağırlığında, vücut yağ oranında, açlık insülin düzeylerinde, homeostatik model değerlendirmesi-insülin direnci (homeostatic model assessment-insulin resistance; HOMA-IR) skorunda, serbest androjen indeksinde, yüksek duyarlılık C-reaktif protein (high-sensitivity C-reactive protein; hs-CRP) düzeylerinde anlamlı azalmalar saptamıştır (Li ve ark., 2021). Aynı çalışmada, katılımcıların %73,3'ünde menstrual düzensizliklerin düzeldiği bildirilmiştir (Li ve ark., 2021). Bununla birlikte, zaman kısıtlı beslenmenin PKOS üzerindeki uzun dönem etkileri henüz tam olarak ortaya konulamamıştır. Mevcut çalışmaların çoğunun kısa süreli olması, örneklem büyüklüklerinin sınırlı kalması ve farklı beslenme protokollerinin kullanılması nedeniyle sonuçların dikkatli yorumlanması gerekmektedir. Bu nedenle, uzun süreli randomize kontrollü çalışmaların yürütülmesi büyük önem taşımaktadır (Feyzioğlu ve ark., 2023).

Feyzioğlu, Güven ve Avul (2023), sekiz saatlik zaman kısıtlı beslenme modelini PKOS'ta potansiyel bir birinci basamak beslenme yaklaşımı olarak değerlendirmiştir. Araştırmacılar, altı haftalık müdahalenin vücut ağırlığı, beden kütle indeksi, bel çevresi, glukoz metabolizması ve hiperandrojenizmle ilişkili bazı göstergeler üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte, örneklem büyüklüğünün sınırlı ve izlem süresinin kısa olması nedeniyle sonuçların uzun dönem klinik önerilere dönüştürülmesi için daha güçlü randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır (Feyzioğlu ve ark., 2023).

4.4. Dijital Sağlık, Giyilebilir Teknolojiler ve Yapay Zekâ Destekli Yaklaşımlar

Son yıllarda dijital sağlık uygulamalarının gelişmesi; uyku süresi, fiziksel aktivite, kalp hızı ve glisemik değişkenlik gibi ölçümlerin giyilebilir cihazlar ve sürekli glukoz izleme sistemleri aracılığıyla daha ayrıntılı izlenmesine olanak sağlamıştır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin kronobeslenme temelli PKOS yönetiminde klinik sonuçları iyileştirdiğini gösteren doğrudan kanıtlar henüz sınırlıdır.

Giyilebilir teknolojilerden elde edilen verilerin öğün zamanlaması ve kronotip bilgileriyle birlikte değerlendirilmesi, gelecekte kişiselleştirilmiş beslenme yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Yapay zekâ destekli karar sistemleri de bu verilerin bütüncül analizinde potansiyel bir araç olmakla birlikte, PKOS'a özgü etkinlik ve güvenilirliğinin ileri klinik çalışmalarla gösterilmesi gerekmektedir.

Giyilebilir teknolojilerden elde edilen verilerin öğün zamanlamasıyla birlikte değerlendirilmesi, kronobeslenme araştırmalarında yeni bir alan oluşturmaktadır (Ravi ve ark., 2025).

Bu nedenle dijital sağlık, giyilebilir teknolojiler ve yapay zekâ destekli uygulamalar PKOS'ta kronobeslenmenin yerleşik tedavi bileşenleri olarak değil, araştırılması gereken geleceğe yönelik araçlar olarak değerlendirilmelidir. Kronobeslenme alanındaki güncel kanıtlar, özellikle öğün zamanlaması ve sirkadiyen uyumun daha güçlü çalışma tasarımlarıyla incelenmesi gerektiğini göstermektedir (Raji ve ark., 2024).

Ulusal literatürde de kronobeslenmenin metabolik hastalıkların önlenmesinde yeni bir yaklaşım olduğu belirtilmektedir. Erkilic ve ark. (2025), sirkadiyen ritimle uyumlu beslenme modellerinin insülin duyarlılığını artırabileceğini ve metabolik sağlığı iyileştirebileceğini bildirmiştir (Erkilic ve ark., 2025).

4.5. Klinik Uygulamalara Yönelik Öneriler

Teede ve ark. (2023), yaşam tarzı değişikliklerini PKOS tedavisinin temel bileşenlerinden biri olarak tanımlamaktadır.

Mevcut kanıtlar doğrultusunda, PKOS'lu bireylerde beslenme danışmanlığı sürecine; öğün zamanlamasının değerlendirilmesi (Jakubowicz ve ark., 2013), kahvaltı alışkanlıklarının sorgulanması (Jakubowicz ve ark., 2013), gece yeme davranışının değerlendirilmesi (Barrea ve ark., 2022), kronotipin belirlenmesi (Barrea ve ark., 2022), uyku süresi ve uyku kalitesinin izlenmesi (Teede ve ark., 2023), uygun bireylerde zaman kısıtlı beslenmenin değerlendirilmesi (Li ve ark., 2021), dijital sağlık uygulamalarının tedaviye entegre edilmesi (Raji ve ark., 2024) önerilebilir.

Bu yaklaşım, PKOS'un yalnızca enerji alımına dayalı geleneksel beslenme modelleriyle değil, sirkadiyen ritimle uyumlu, kişiselleştirilmiş ve teknoloji destekli müdahalelerle yönetilmesine olanak sağlayabilir.

5. Sonuç ve Öneriler

Polikistik over sendromu (PKOS), yalnızca üreme fonksiyonlarını etkileyen bir endokrin bozukluk olarak değerlendirilmemelidir. Son yıllarda elde edilen bulgular, sirkadiyen ritim, uyku düzeni, kronotip ve beslenme zamanlamasının hastalığın metabolik ve hormonal özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Özellikle insülin direnci, hiperandrojenizm, kronik inflamasyon ve kardiyometabolik risk gibi PKOS'un temel bileşenlerinin, sirkadiyen sistemdeki bozulmalardan etkilenebileceği düşünülmektedir (Teede ve ark., 2023; Heydari ve Ramdass, 2025).

Uyku kalitesindeki bozulma ve sirkadiyen uyumsuzluk, glukoz homeostazını ve enerji metabolizmasını olumsuz etkileyerek PKOS'un klinik görünümünü ağırlaştırabilmektedir. Zhang ve ark. (2022) ve Abdul Jafar ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemeler, PKOS'lu kadınlarda uyku bozukluklarının ve obstrüktif uyku apnesinin daha yaygın olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, uyku değerlendirmesinin PKOS yönetiminin rutin bir parçası hâline getirilmesi yararlı olabilir.

Kronobeslenme yaklaşımı, beslenmenin yalnızca içeriğine değil, aynı zamanda zamanlamasına da odaklanmaktadır. Jakubowicz ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışma, günlük enerjinin sabah saatlerinde yoğunlaştırılmasının insülin duyarlılığını artırabileceğini ve hormonal profili iyileştirebileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, Li ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen müdahale çalışması, zaman kısıtlı beslenmenin vücut ağırlığı, insülin direnci ve hiperandrojenemi üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini ortaya koymuştur.

Klinik uygulamalarda, PKOS'lu bireylerin değerlendirilmesine aşağıdaki unsurların eklenmesi önerilebilir:

- Uyku süresi ve uyku kalitesinin rutin olarak değerlendirilmesi
- Kronotip özelliklerinin belirlenmesi
- Öğün zamanlamasının ayrıntılı olarak sorgulanması
- Kahvaltı alışkanlıklarının değerlendirilmesi
- Gece yeme davranışının izlenmesi
- Uygun bireylerde zaman kısıtlı beslenme modellerinin değerlendirilmesi
- Dijital sağlık ve giyilebilir teknoloji uygulamalarının beslenme danışmanlığına entegre edilmesi

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, kronotip, sirkadiyen ritim, bağırsak mikrobiyotası, dijital sağlık teknolojileri ve yapay zekâ destekli beslenme modellerinin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Özellikle uzun süreli, çok merkezli ve randomize kontrollü çalışmalar, kronobeslenmenin PKOS tedavisindeki yerinin daha net bir şekilde belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, sirkadiyen ritimle uyumlu beslenme stratejileri PKOS'un metabolik ve hormonal bileşenlerinin yönetiminde tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Öğün zamanlaması ve zaman kısıtlı beslenmeye ilişkin ilk bulgular umut verici olmakla birlikte, mevcut kanıtların önemli bir bölümü küçük örneklemli ve kısa süreli çalışmalara dayanmaktadır. Bu nedenle kronobeslenmenin standart PKOS tedavi algoritmalarına dâhil edilebilmesi için uzun süreli, çok merkezli ve iyi tasarlanmış randomize kontrollü çalışmalara gereksinim vardır (Teede ve ark., 2023; Raji ve ark., 2024).

KAYNAKLAR

- Abdul Jafar, N. K., Al Balushi, A., Subramanian, A., Lee, S. I., Bennett, C. J., Moran, L. J., Mousa, A., Tay, C. T., Teede, H. J., & Mansfield, D. R. (2025). Obstructive sleep apnea syndrome in polycystic ovary syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 16, 1532519. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1532519>
- Barrea, L., Verde, L., Vetrani, C., Savastano, S., Colao, A., & Muscogiuri, G. (2022). Chronotype: A tool to screen eating habits in polycystic ovary syndrome? *Nutrients*, 14(5), 955. <https://doi.org/10.3390/nu14050955>
- Cipolla-Neto, J., & Amaral, F. G. (2018). Melatonin as a hormone: New physiological and clinical insights. *Endocrine Reviews*, 39(6), 990–1028. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00084>
- Di Lorenzo, M., Cacciapuoti, N., Lonardo, M. S., Nasti, G., Gautiero, C., Belfiore, A., Guida, B., & Chiurazzi, M. (2023). Pathophysiology and nutritional approaches in polycystic ovary syndrome (PCOS): A comprehensive review. *Current Nutrition Reports*, 12(3), 527–544. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00479-8>

- Feyzioğlu, B. S., Güven, C. M., & Avul, Z. (2023). Eight-hour time-restricted feeding: A strong candidate diet protocol for first-line therapy in polycystic ovary syndrome. *Nutrients*, 15(10), 2260. <https://doi.org/10.3390/nu15102260>
- Heydari, T., & Ramdass, P. V. A. K. (2025). Circadian rhythm disruption and polycystic ovary syndrome: A systematic review and meta-analysis. *AJOG Global Reports*, 5(2), 100479. <https://doi.org/10.1016/j.xagr.2025.100479>
- Jakubowicz, D., Barnea, M., Wainstein, J., & Froy, O. (2013). Effects of caloric intake timing on insulin resistance and hyperandrogenism in lean women with polycystic ovary syndrome. *Clinical Science*, 125(9), 423–432. <https://doi.org/10.1042/CS20130071>
- Li, C., Xing, C., Zhang, J., Zhao, H., Shi, W., & He, B. (2021). Eight-hour time-restricted feeding improves endocrine and metabolic profiles in women with anovulatory polycystic ovary syndrome. *Journal of Translational Medicine*, 19, 148. <https://doi.org/10.1186/s12967-021-02817-2>
- Oberg, E., Blomberg, L., Åkerstedt, T., & Hirschberg, A. L. (2023). Different sleep pattern in over-weight/obese women with polycystic ovary syndrome. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1068045. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1068045>
- Öney, B., & Balcı, Ç. (2021). Sirkadiyen ritmin sağlıktaki rolü. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 64–75. <https://doi.org/10.51536/tusbad.922995>
- Orkun Erkiş, T., Bayraktar, B., Çelikel Taşçı, S., Bayraktar, S., Çakıcı, Ö. S., Kiliç, Y. B., Kördeve, F. M., & Erkan, N. (2025). Krono-Beslenme (Chrono-Nutrition): Sirkadiyen ritme uyumlu beslenme yaklaşımıyla metabolik hastalıkların önlenmesi ve yönetimi. *Avrasya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(1), 44–54.
- Raji, O. E., Kyeremah, E. B., Sears, D. D., St-Onge, M.-P., & Makarem, N. (2024). Chrononutrition and cardiometabolic health: An overview of epidemiological evidence and key future research directions. *Nutrients*, 16(14), 2332. <https://doi.org/10.3390/nu16142332>
- Sellix, M. T. (2015). Circadian clock function in the mammalian ovary. *Journal of Biological Rhythms*, 30(1), 7–19. <https://doi.org/10.1177/0748730414554222>
- Simon, S. L., McWhirter, L., Diniz Behn, C., Bubar, K. M., Kaar, J. L., Pyle, L., Rahat, H., Garcia-Reyes, Y., Carreau, A.-M., Wright, K. P., Jr., Nadeau, K. J., & Cree-Green, M. (2019). Morning circadian misalignment is associated with insulin resistance in girls with obesity and polycystic ovarian syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 104(8), 3525–3534. <https://doi.org/10.1210/jc.2018-02385>
- Teede, H. J., Tay, C. T., Laven, J. J. E., Dokras, A., Moran, L. J., Piltonen, T. T., Costello, M. F., Boivin, J., Redman, L. M., Boyle, J. A., Norman, R. J., Mousa, A., & Joham, A. E. (2023). Recommendations from the 2023 international evidence-based guideline for the assessment and management of polycystic ovary syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 108(10), 2447–2469. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad463>
- Wang, C., Huang, T., Song, W., Zhu, J., Liu, Y., Chen, X., Sun, X., Wu, Q., Chen, H., Liao, H., Lin, J., Ou, X., Zou, Z., Wang, Z., Zheng, Z., Wu, K., & Chen, R. (2022). A meta-analysis of the relationship between polycystic ovary syndrome and sleep disturbances risk. *Frontiers in Physiology*, 13, 957112. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.957112>
- Zhang, J., Ye, J., Tao, X., Lu, W., Chen, X., & Liu, C. (2022). Sleep disturbances, sleep quality, and cardiovascular risk factors in women with polycystic ovary syndrome: Systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 971604. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.971604>

- Ravi N, et al. (2025). Sleep and chrononutrition: a narrative review. *Sleep and Biological Rhythms*, 23(4), 411-417. DOI:10.1007/s41105-025-00607-7
- Singh I, Maurya PK. (2025). Disrupted rhythms and dysfunction: A chronobiological perspective on polycystic ovary syndrome. *Pathology - Research and Practice*, 275, 156251. DOI:10.1016/j.prp.2025.156251
- Patel A, Cheung J. (2025). The effect of mediterranean diet and chrononutrition on sleep quality: a scoping review. *Nutrition Journal*, 24(1), 31. DOI:10.1186/s12937-025-01095-8
- Dilimulati D, et al. (2025). Getting Up in the Morning and Chronotype in Relation to Polycystic Ovarian Syndrome. *Nature and Science of Sleep*, 17, 779-790. DOI:10.2147/NSS.S511467

ONLINE YEMEK SİPARİŞİ VERME TUTUMUNUN, YEME DAVRANIŞI VE MUTFAK BECERİLERİ İLE İLİŞKİSİ

Sıla EKİCİ

Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye

ORCID ID: 0009-0003-3321-1744

Doç. Dr. Semra NAVRUZ VARLI

Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-0698-6021

ÖZET

Gelişen dijital teknolojiler ve değişen yaşam koşulları, bireylerin gıdaya erişim yollarını ve beslenme alışkanlıklarını köklü bir şekilde dönüştürmüştür. Bu çalışma, yetişkin bireylerin online yemek siparişi verme tutumları ile duygusal yeme davranışları, mutfak (pişirme ve yiyecek hazırlama) becerileri ve besin ögesi alımları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yürütülmüştür. Kesitsel tipteki bu araştırmaya 18-65 yaş arası 67 kadın (%74,4) ve 23 erkek (%25,6) olmak üzere toplam 90 birey katılmıştır. Çalışma verileri; Online Yemek Siparişine Yönelik Tutum Ölçeği, Hollanda Yeme Davranışı Anketi (DEBQ) ve Pişirme ve Yiyecek Hazırlama Becerileri Ölçeği kullanılarak elde edilmiştir. Bireylerin besin tüketimleri 24 saatlik hatırlatma yöntemiyle sorgulanmış ve günlük besin ögesi alımları BeBİS programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Katılımcıların tamamının online yemek siparişi uygulamalarını kullandığı, en sık yemek siparişi verilen öğünün akşam yemeği (%71,1) ve en çok tercih edilen yiyeceklerin Burger/Pizza/Fast Food (%43,4) olduğu saptanmıştır. Bireylerin online sipariş verme tutumu ile hem duygusal yeme ($r = 0,224$; $p < 0,05$) hem de dışsal yeme ($r = 0,268$; $p < 0,05$) puanları arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki bulunmuştur. Kadınların duygusal yeme puan ortalaması ($32,4 \pm 14,61$) erkeklerinkinden ($24,4 \pm 10,40$) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Haftada 1 kereden az online yemek siparişi verenlerin mutfak becerileri puan ortalaması ($163,5 \pm 44,17$), haftada 1 kez ve daha fazla sipariş verenlere ($140,9 \pm 43,10$) göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Haftada en az bir kez online yemek siparişi verenlerin günlük enerji, protein ve yağ alımları daha yüksek; posa alımları ise daha düşük olmakla birlikte, bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Sonuç olarak; online yemek siparişi verme tutumu ile duygusal ve dışsal yeme eğilimleri arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunurken, haftada 1 kereden az online yemek siparişi veren bireylerin toplam mutfak becerileri puanlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bireylerin mutfak becerilerinin ve yeme farkındalığının geliştirilmesinin, online yemek siparişi verme sıklığının azaltılmasına katkı sağlayabileceği ve sağlıklı beslenme alışkanlıklarının geliştirilmesini destekleyebileceği düşünülmektedir. Diyetisyenler, psikologlar, aşçılar/şefler ve eğitimcilerden oluşan multidisipliner ekipler tarafından konuyla ilgili teorik bilgilerin kazandırılmasına ek olarak daha fazla sayıda uygulama temelli farkındalık-beceri kazandırma çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Online yemek siparişi, Tutum, Mutfak becerileri, Yeme davranışı, Yetişkin

THE RELATIONSHIP BETWEEN ONLINE FOOD ORDERING ATTITUDE, EATING BEHAVIOR, AND KITCHEN SKILLS.

ABSTRACT

Developing digital technologies and changing living conditions have radically transformed individuals' ways of accessing food and their dietary habits. This study was conducted to examine the relationship between adult individuals' online food ordering attitudes, emotional eating behaviors, cooking (cooking and food preparation) skills, and nutrient intakes. A total of 90 individuals aged 18–65, including 67 females (74.4%) and 23 males (25.6%), participated in this cross-sectional study. Study data were obtained using the Attitude Scale Towards Online Food Orders, the Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ), and the Cooking and Food Provisioning Skills Scale. Individuals' food consumption was queried using the 24-hour dietary recall method, and daily nutrient intakes were analyzed via the BeBİS software. It was determined that all participants used online food ordering applications, dinner was the most frequently ordered meal (71.1%), and Burger/Pizza/Fast Food were the most preferred foods (43.4%). A statistically significant positive relationship was found between individuals' attitudes toward online ordering and both emotional eating ($r=0.224$; $p<0.05$) and external eating ($r=0.268$; $p<0.05$) scores. The mean emotional eating score of females (32.4 ± 14.61) was found to be significantly higher than that of males (24.4 ± 10.40) ($p<0.05$). The mean cooking skills score of those who ordered online less than once a week (163.5 ± 44.17) was significantly higher compared to those who ordered once a week or more (140.9 ± 43.10) ($p<0.05$). While individuals who ordered online food at least once a week had higher daily energy, protein, and fat intakes and lower dietary fiber intakes, these differences were not statistically significant ($p > 0.05$).

In conclusion, positive and significant associations were found between attitudes toward online food ordering and emotional and external eating tendencies, while individuals who ordered food online less than once a week had higher total cooking skills scores. It is thought that developing individuals' cooking skills and increasing mindful eating may contribute to reducing the frequency of online food ordering and support the development of healthy eating habits. In addition to providing theoretical knowledge on the subject, there is a need for a greater number of practice-based awareness and skill-building studies by multidisciplinary teams consisting of dietitians, psychologists, chefs, and educators.

Keywords: Online food ordering, Attitude, Cooking skills, Eating behavior, Adult

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılda teknolojinin gelişmesi ve dijitalleşmenin günlük yaşamın farklı alanlarına nüfuz etmesi, bireylerin yaşam tarzlarında ve beslenme alışkanlıklarında değişikliklere yol açmıştır. Akıllı telefonların yaygınlaşması ve mobil internet erişiminin kolaylaşmasıyla beraber ortaya çıkan online yemek siparişi platformları; sundukları zaman tasarrufu, geniş menü çeşitliliği, kişiselleştirilmiş kampanya avantajları ve kapıya teslim kolaylığı sayesinde geleneksel evde yemek hazırlama alışkanlıklarını dönüştürmektedir. Online yemek siparişi hizmetleri, özellikle kolaylık ve erişilebilirlik sağlamaları nedeniyle günlük besin edinme davranışının giderek daha görünür bir parçası haline gelmiştir (Cho vd., 2019; Stephens vd., 2020; Granheim vd., 2022). Beslenme alanındaki güncel araştırmalar, bireylerin besine ulaşım kanallarındaki bu dijital dönüşümün halk sağlığı üzerindeki olası etkilerini tartışmaktadır (Granheim vd., 2022). Özellikle ev dışında hazırlanan ve online platformlar

aracılığıyla temin edilen yiyeceklerin tüketim sıklığındaki artışın, diyet kalitesi üzerinde olumsuz sonuçlarla ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Online yemek siparişi platformlarının yaygınlaşması, bireylerin enerji yoğunluğu yüksek ve besin kalitesi daha düşük yiyeceklerle erişimini kolaylaştırabilmekte ve dijital besin ortamının diyet tercihleri üzerindeki etkisine ilişkin halk sağlığı kaygılarını artırmaktadır (Eu ve Sameeha, 2021; Stephens vd., 2020; Granheim vd., 2022). Bu durum, enerji yoğunluğu yüksek ve besin değeri daha düşük yiyeceklerin tüketimini kolaylaştırarak sağlıksız beslenme örüntülerine katkıda bulunabilecek bir dijital besin ortamı oluşturabilir (Partridge vd., 2020; Granheim vd., 2022).

Beslenme kalitesini belirleyen bu süreçte bireylerin pişirme ve yiyecek hazırlama becerileri koruyucu bir rol üstlenebilmektedir. Yemek pişirme ve yiyecek hazırlama becerileri, evde yemek hazırlama davranışı ve beslenme örüntüleriyle ilişkili önemli faktörler arasında değerlendirilmektedir (Lavelle vd., 2016; Wolfson ve Bleich, 2015; Keleş ve Ok, 2021). Evde yemek hazırlamaya yönelik müdahalelerin, bireylerin yemek pişirme becerileri, bilgi düzeyi ve öz-yeterlilikleri üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir (Reicks vd., 2014). Ancak günümüzde, özellikle genç yetişkin popülasyonda mutfak becerilerinin kuşaklar arası aktarımının azalması, zaman yetersizliği algısı ve hazırı yönelim, bireyleri online yemek siparişi sistemlerine yönlendirebilmektedir.

Beslenme tercihlerini ve satın alma davranışlarını şekillendiren diğer unsurlar ise duygusal yeme ve dışsal yeme mekanizmalarıdır. Duygusal yeme, bireylerin duygusal durumlarla ilişkili olarak yemek yeme eğilimini ifade etmektedir (Macht, 2008; Van Strien vd., 1986). Dışsal yeme, açlık ve tokluk gibi içsel sinyallerden bağımsız olarak yiyeceğin görünümü, kokusu ve ulaşılabilirliği gibi dışsal uyaranlara yanıt verme eğilimini ifade etmektedir (Van Strien vd., 1986; Akan vd., 2012). Dijital yemek platformlarında yiyecek görsellerine ve çeşitli dijital pazarlama uyaranlarına sürekli maruz kalınması, bireylerin yiyeceklerle yönelik görsel ve hedonik tepkilerini artırarak satın alma davranışlarını etkileyebilmektedir (Spence vd., 2016; Gunasundari ve Kulkarni, 2023).

Bunun yanı sıra son yıllarda yaşanan ekonomik dalgalanmalar, hanehalklarının gıda güvencesizliği durumunu ve besin tercihlerini etkileyebilmektedir. Gıda güvencesizliği, bireylerin besin seçimlerini ve diyet kalitesini etkileyebilen ekonomik bir belirleyicidir. Gıda güvencesizliği yaşayan bireylerde enerji yoğun ve ultra-işlenmiş gıda tüketiminin artabileceği bildirilmektedir (Leung vd., 2022). Online yemek siparişi platformlarında fiyat ve kolaylık, yiyecek seçimini etkileyebilen önemli faktörler arasında yer almaktadır (Eu ve Sameeha, 2021). Yetişkin bireyler, günlük besin seçimleri ve yemek tercihleri üzerinde önemli ölçüde karar sahibi olmaları nedeniyle bu çalışmada hedef grup olarak belirlenmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, Türkiye'de yaşayan yetişkin bireylerde online yemek siparişi verme tutumu, sıklığı ve harcama dinamikleri ile bireylerin yeme davranışları (duygusal, dışsal, kısıtlayıcı), mutfak (pişirme ve yiyecek hazırlama) becerileri ve besin ögesi alımları arasındaki ilişkiyi incelemektir.

MATERYAL VE METOD

Bu araştırma, nicel araştırma desenlerinden ilişkisel tarama modelinde planlanmış, tanımlayıcı ve kesitsel bir çalışmadır. Araştırmanın örneklem büyüklüğü G*Power 3.1 yazılımı kullanılarak, Doğrusal Çoklu Regresyon analizi (F testleri ailesi) için orta düzey etki büyüklüğü ($f=0,25$), $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyi ve %85 test gücü esas alınarak hesaplanmıştır. Güç analizi sonucunda minimum örneklem büyüklüğü 87 birey olarak belirlenmiş; araştırma, kolayda örnekleme yöntemiyle ulaşılan ve gönüllü katılım sağlayan 18–65 yaş arası 67 kadın (%74,4)

ve 23 erkek (%25,6) olmak üzere toplam 90 yetişkin birey ile tamamlanmıştır. Araştırmaya dahil edilme kriterleri; 18–65 yaş arasında olmak, akıllı telefon veya bilgisayar aracılığıyla online yemek siparişi uygulamalarını kullanıyor olmak ve bilgilendirilmiş gönüllü onam formunu onaylamaktır. Gebe ve emzikli kadınlar, klinik tanısı konulmuş yeme bozukluğu bulunanlar ve anket formlarını bağımsız olarak yanıtlamasını engelleyecek bilişsel yetersizliği bulunan bireyler çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Veri toplama aşamasında araştırmacı tarafından hazırlanan Kişisel Bilgi Formu, Online Yemek Siparişine Yönelik Tutum Ölçeği (Yavuz ve Arslan, 2024), Besin Güvencesizliği Deneyim Ölçeği (BGDÖ; Kılınç vd., 2025), Hollanda Yeme Davranışı Anketi (DEBQ; Bozan, 2009; Van Strien vd., 1986), Pişirme ve Yiyecek Hazırlama Becerileri Ölçeği (Keleş ve Ok, 2021; Lavelle vd., 2016) ve 24 saatlik besin tüketim kaydı kullanılmıştır. Tüketilen besinlerin enerji, makro ve mikro besin ögesi içerikleri BeBİS (Beslenme Bilgi Sistemi) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen değerler, Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER, 2022) referans değerleri ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler IBM SPSS Statistics 22.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve istatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Araştırmanın etik onayı Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu'ndan (Tarih: 13.01.2026, Karar No: 2026-79) alınmıştır.

BULGULAR

Bu çalışma, bireylerin online yemek siparişi verme alışkanlıkları, yeme davranışları ve mutfak becerileri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla 67 kadın ve 23 erkek olmak üzere toplam 90 katılımcı üzerinde yürütülmüştür.

Katılımcıların demografik ve sosyoekonomik özellikleri ile online sipariş alışkanlıklarına ilişkin dağılımlar Tablo 1'de sunulmuştur. Katılımcıların yaş ortalaması $27,1 \pm 8,63$ yıl, Beden Kütle İndeksi (BKİ) ortalaması ise $24,2 \pm 4,84$ kg/m² olarak bulunmuştur. Erkek katılımcıların BKİ ortalaması $25,3 \pm 4,19$ kg/m², kadın katılımcıların ise $23,9 \pm 5,02$ kg/m² olarak belirlenmiştir. Katılımcıların tamamının (%100,0) online yemek sipariş uygulamalarını aktif olarak kullandığı, %58,9'unun (n=53) haftada en az bir kez online yemek siparişi verdiği belirlenmiştir. Siparişlerin en sık akşam yemeği öğününde (%71,1) verildiği saptanmıştır. Sipariş verme nedenleri incelendiğinde, kadınlarda en sık bildirilen neden %44,8 ile “canım lezzetli bir şey istedi (aşerme)”, erkeklerde ise %39,1 ile “vaktim yoktu/yorgundum” olmuştur. Erkeklerin yemek yapmayı bilmediği veya istemediği için sipariş verme oranı (%21,7), kadınlara (%4,5) kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların demografik özellikleri ve sipariş verme alışkanlıkları

Demografik ve Davranışsal Özellikler	Kadın (n=67)	Erkek (n=23)	Toplam (N=90)
Yaş (yıl) ($\bar{x} \pm SS$)	27,0 $\pm$ 8,93	27,6 $\pm$ 7,86	27,1 $\pm$ 8,63
Vücut Ağırlığı (kg) ($\bar{x} \pm SS$)	63,8 $\pm$ 13,14	82,7 $\pm$ 15,90	68,6 $\pm$ 16,10
Boy Uzunluğu (cm) ($\bar{x} \pm SS$)	163,6 $\pm$ 5,95	180,4 $\pm$ 6,93	167,9 $\pm$ 9,62
BKİ (kg/m ²) ($\bar{x} \pm SS$)	23,9 $\pm$ 5,02	25,3 $\pm$ 4,19	24,2 $\pm$ 4,84

Demografik ve Davranışsal Özellikler	Kadın (n=67)	Erkek (n=23)	Toplam (N=90)
Medeni Durum [n (%)]			
Bekar	54 (%80,6)	16 (%69,6)	70 (%77,8)
Evli	13 (%19,4)	7 (%30,4)	20 (%22,2)
Aylık Toplam Gelir (TL) [Medyan (IQR)]	15.000 (18.000)	40.000 (48.000)	19.500 (30.000)
Online Sipariş Sıklığı [n (%)]			
Her gün	2 (%3,0)	3 (%13,0)	5 (%5,6)
Haftada 3-4 kez	12 (%17,9)	9 (%39,1)	21 (%23,3)
Haftada 1-2 kez	20 (%29,9)	7 (%30,4)	27 (%30,0)
Ayda 1-3 kez	23 (%34,3)	4 (%17,5)	27 (%30,0)
Ayda 1 kezden az	10 (%14,9)	0 (%0,0)	10 (%11,1)
Tercih Edilen Öğün [n (%)]			
Akşam Yemeği	48 (%71,6)	16 (%69,6)	64 (%71,1)
Öğle Yemeği	14 (%20,9)	5 (%21,7)	19 (%21,1)
Gece Atıştırmalığı / Diğer	5 (%7,5)	2 (%8,7)	7 (%7,8)
Baskın Sipariş Nedeni [n (%)]			
Canım lezzetli bir şey istedi (Aşırme)	30 (%44,8)	5 (%21,7)	35 (%38,9)
Vaktim yoktu / Yorgundum	19 (%28,3)	9 (%39,1)	28 (%31,1)
Yemek yapmayı bilmiyorum / İstemedim	3 (%4,5)	5 (%21,7)	8 (%8,9)
Evde malzeme yoktu	9 (%13,4)	1 (%4,4)	10 (%11,1)
Moral bozukluğu / Stres	3 (%4,5)	2 (%8,7)	5 (%5,6)
İndirim / Kampanya vardı	3 (%4,5)	1 (%4,4)	4 (%4,4)

BKİ: Beden Kütle İndeksi, SS: Standart Sapma, IQR: Çeyrekler Arası Aralık.

Online siparişlerde tercih edilen yiyecek gruplarının sıklık dağılımı Tablo 2'de incelenmiştir. Katılımcıların en yüksek oranla “sık sık” tercih ettiği yiyecek gruplarının Burger/Pizza/Fast Food (%43,4) ile Döner/Çiğ Köfte (%41,1) olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, katılımcıların

büyük bir çoğunluğunun Uzak Doğu/Dünya Mutfağını (%73,3), Kahve/İçecekleri (%57,8), Ev Yemekleri/Sulu Yemek/Çorba grubunu (%54,4) ve Sağlıklı Seçenekleri (Salata vb.) (%53,3) oranlarında “asla” tercih etmediği saptanmıştır. Ayrıca Lahmacun/Pide/Kebap grubunun ise en yoğun şekilde (%42,2) “bazen” tercih edilen grupta yer aldığı görülmüştür.

Tablo 2. Katılımcıların online siparişlerde tercih ettikleri yiyecek gruplarının sıklık dağılımı

Yiyecek Grupları	Her siparişimde n (%)	Sık sık n (%)	Bazen n (%)	Nadiren n (%)	Asla n (%)
Burger/ Pizza/ Fast Food	10 (11,1)	39 (43,4)	17 (18,9)	21 (23,3)	3 (3,3)
Lahmacun/ Pide/ Kebab	2 (2,2)	18 (20,0)	38 (42,2)	24 (26,7)	8 (8,9)
Döner/ Çiğ Köfte	8 (8,9)	37 (41,1)	21 (23,3)	18 (20,0)	6 (6,7)
Ev Yemekleri/ Sulu Yemek/ Çorba	2 (2,2)	6 (6,7)	11 (12,2)	22 (24,5)	49 (54,4)
Tatlı/ Pasta/ Dondurma	2 (2,2)	11 (12,2)	23 (25,6)	29 (32,2)	25 (27,8)
Kahve/ İçecekler	-	5 (5,6)	12 (13,3)	21 (23,3)	52 (57,8)
Uzak Doğu/ Dünya Mutfağı	-	1 (1,1)	9 (10,0)	14 (15,6)	68 (73,3)
Sağlıklı Seçenekler (Salata vb.)	2 (2,2)	5 (5,6)	13 (14,4)	22 (24,5)	48 (53,3)

Katılımcıların online sipariş verme sıklığına ve cinsiyete göre ölçek puanlarının karşılaştırmalı analizi Tablo 3'te verilmiştir. Haftada 1 kezden az sipariş veren katılımcıların Toplam Mutfak Becerileri puan ortalaması ($163,5 \pm 44,17$) ve Yiyecek Hazırlama Becerileri puan ortalaması ($92,3 \pm 26,22$), haftada 1 kez ve daha fazla sipariş verenlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur (sırasıyla $p = 0,018$ ve $p = 0,008$). Cinsiyet bazında incelendiğinde; kadınların Pişirme Becerileri puanı ($69,8 \pm 22,86$) erkeklerden ($56,1 \pm 25,07$) anlamlı derecede yüksek saptanmıştır ($p = 0,031$). Buna karşın kadınların Besin Güvencesizliği (BGDÖ) puan ortalamasının ($1,5 \pm 1,92$) erkeklerden ($0,5 \pm 1,38$) anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir ($p = 0,020$). Ayrıca DEBQ genel toplam puanı ($p = 0,024$) ve Duygusal Yeme alt boyut puanı ($p = 0,022$) kadınlarda erkeklere göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur.

Tablo 3. Katılımcıların sipariş sıklığı ve cinsiyete göre ölçek puanlarının karşılaştırılması

Değerlendirme Kriterleri	Haftada ≥ 1 Kez (n=53) ($\bar{x} \pm SS$)	Haftada < 1 Kez (n=37) ($\bar{x} \pm SS$)	Test İstatistiği ve p	Kadın (n=67) ($\bar{x} \pm SS$)	Erkek (n=23) ($\bar{x} \pm SS$)	Test İstatistiği ve p
Toplam Mutfak Becerileri	$140,9 \pm 43,10$	$163,5 \pm 44,17$	$t = -2,418$; $p = 0,018^*$	$155,4 \pm 42,09$	$135,0 \pm 49,49$	$t = -1,917$; $p = 0,059$
Pişirme Becerileri	$62,8 \pm 22,12$	$79,3 \pm 18,34$	$Z = -1,854$; $p = 0,064$	$69,8 \pm 22,86$	$56,1 \pm 25,07$	$Z = -2,156$; $p = 0,031^*$
Hazırlama Becerileri	$78,0 \pm 23,67$	$92,3 \pm 26,22$	$t = -2,698$; $p = 0,008^*$	$85,6 \pm 25,19$	$78,9 \pm 26,75$	$t = -1,083$; $p = 0,282$

Değerlendirme Kriterleri	Haftada ≥ 1 Kez (n=53) ($\bar{x} \pm SS$)	Haftada < 1 Kez (n=37) ($\bar{x} \pm SS$)	Test İstatistiği ve p	Kadın (n=67) ($\bar{x} \pm SS$)	Erkek (n=23) ($\bar{x} \pm SS$)	Test İstatistiği ve p
Besin Güvencesizliği (BGDÖ)	1,4 $\pm$ 2,05	0,9 $\pm$ 1,43	Z = -1,211; p = 0,226	1,5 $\pm$ 1,92	0,5 $\pm$ 1,38	Z = -2,323; p = 0,020*
DEBQ Toplam Puanı	89,3 $\pm$ 21,18	83,7 $\pm$ 19,36	t = 1,269; p = 0,208	89,9 $\pm$ 21,28	78,7 $\pm$ 15,84	t = -2,299; p = 0,024*
Duygusal Yeme	31,5 $\pm$ 14,35	28,6 $\pm$ 13,85	Z = -1,467; p = 0,142	32,4 $\pm$ 14,61	24,4 $\pm$ 10,40	Z = -2,290; p = 0,022*
Dışsal Yeme	31,8 $\pm$ 9,14	30,9 $\pm$ 9,07	Z = -1,720; p = 0,085	31,5 $\pm$ 9,19	31,4 $\pm$ 8,77	Z = -0,116; p = 0,908
Kısıtlayıcı Yeme	25,9 $\pm$ 10,02	24,1 $\pm$ 9,68	Z = -0,882; p = 0,378	26,0 $\pm$ 9,20	23,0 $\pm$ 11,67	Z = -1,704; p = 0,088
Online Sipariş Tutumu	50,1 $\pm$ 11,46	47,2 $\pm$ 10,60	t = 1,247; p = 0,216	48,7 $\pm$ 9,94	49,8 $\pm$ 14,36	t = 0,405; p = 0,687
Web Sitesi Kalitesi	17,2 $\pm$ 3,67	16,5 $\pm$ 3,58	Z = -1,829; p = 0,067	17,1 $\pm$ 3,38	16,6 $\pm$ 4,28	Z = 0,000; p = 1,000
Zaman Tasarrufu	17,1 $\pm$ 5,08	15,3 $\pm$ 4,32	t = 1,818; p = 0,072	16,1 $\pm$ 4,46	17,3 $\pm$ 5,86	t = 1,011; p = 0,315
Ekonomiklik	15,8 $\pm$ 5,58	15,2 $\pm$ 5,84	t = 0,497; p = 0,620	15,5 $\pm$ 5,42	15,9 $\pm$ 6,44	t = 0,263; p = 0,793

* p < 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

Ölçek puanları ve araştırma değişkenleri arasındaki korelasyon analizi Tablo 4'te sunulmuştur. Online yemek siparişine yönelik tutum puanları ile duygusal yeme ($r=0,224$; $p=0,034$) ve dışsal yeme ($r=0,268$; $p=0,011$) arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Duygusal ve dışsal yeme puanları arasında da pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r=0,327$; $p=0,002$). Yaş ile yiyecek hazırlama becerileri arasında pozitif yönlü ($r=0,238$; $p=0,024$), duygusal yeme ($r=-0,218$; $p=0,039$) ve dışsal yeme ($r=-0,277$; $p=0,008$) arasında ise negatif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Aylık online sipariş bütçesi ile dışsal yeme ($r=0,224$; $p=0,034$) ve sipariş tutumu ($r=0,214$; $p=0,043$) arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Günlük basit şeker alımı ile duygusal yeme arasında da pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r=0,221$; $p=0,036$).

Tablo 4. Ölçek puanları ve araştırma değişkenleri arasındaki korelasyon matrisi

Değişkenler	1	2	3	4	5	6
1. Pişirme Becerileri	1					
2. Yiyecek Hazırlama Becerileri	0,620** (0,000)	1				
3. BGDÖ	-0,137 (0,198)	-0,018 (0,866)	1			
4. Duygusal Yeme	0,047	-0,001	0,182	1		

	(0,662)	(0,990)	(0,087)			
5. Dışsal Yeme	-0,011 (0,919)	-0,167 (0,117)	0,019 (0,858)	0,327** (0,002)	1	
6. Sipariş Tutumu	-0,102 (0,337)	-0,126 (0,237)	-0,021 (0,844)	0,224* (0,034)	0,268* (0,011)	1
7. Yaş (yıl)	0,128 (0,228)	0,238* (0,024)	- 0,083 (0,435)	-0,218* (0,039)	-0,277** (0,008)	-0,150 (0,158)
8. BKİ (kg/m ²)	0,209* (0,048)	0,323** (0,002)	-0,116 (0,278)	-0,014 (0,898)	-0,298** (0,004)	0,011 (0,919)
9. Şeker Alımı (g/gün)	0,184 (0,082)	0,052 (0,625)	0,171 (0,106)	0,221* (0,036)	0,143 (0,180)	0,136 (0,201)
10. Kolesterol (mg/gün)	-0,132 (0,214)	-0,041 (0,704)	-0,108 (0,312)	-0,158 (0,136)	-0,115 (0,279)	-0,271* (0,010)
11. Online Sipariş Bütçesi	-0,056 (0,602)	-0,177 (0,095)	-0,079 (0,461)	0,068 (0,527)	0,224* (0,034)	0,214* (0,043)

BGDÖ: Besin Güvencesizliği Deneyim Ölçeği.

Değerlerde $p < 0,05$ düzeyindeki anlamlılıklar tek yıldız (*), $p < 0,01$ düzeyindekiler çift yıldız (**) ile belirtilmiştir.

TARTIŞMA

Gelişen dijital teknolojiler ve değişen yaşam koşulları, bireylerin gıdaya erişim yollarını ve beslenme alışkanlıklarını dönüştürmüştür. Bu çalışmada bireylerin online yemek siparişi verme tutumları ile yeme davranışları ve mutfak becerileri incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre, bireylerin online yemek siparişine yönelik tutum puanları ile duygusal yeme ve dışsal yeme eğilimleri arasında pozitif yönlü ve anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Yaş ile duygusal ve dışsal yeme puanları arasında negatif yönlü, yiyecek hazırlama becerileri ile yaş arasında ise pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Aylık online yemek siparişi bütçesi ile dışsal yeme ve online yemek siparişine yönelik tutum puanları arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Mutfak becerileri açısından, kadınların pişirme becerileri erkeklerden daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgu, evde yemek hazırlama ve pişirme becerilerinin geliştirilmesinin evde yemek hazırlama davranışını destekleyebileceğini gösteren önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Reicks et al., 2014; Lavelle et al., 2016). Evde yiyecek hazırlama becerilerinin daha yüksek olması, evde yemek hazırlama davranışı ile ilişkili olabilir. Bununla birlikte, araştırmanın kesitsel tasarımı nedeniyle elde edilen ilişkilerin nedensel olarak yorumlanmaması gerekmektedir. Kadınların pişirme becerileri daha yüksek olmasına karşın, duygusal yeme puanlarının da daha yüksek bulunması, mutfak becerileri ile yeme davranışlarının farklı boyutlar olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca BKİ ile pişirme ve yiyecek hazırlama becerileri arasında pozitif yönlü, dışsal yeme ile BKİ arasında ise negatif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Günlük basit şeker alımı ile duygusal yeme arasında pozitif yönlü ilişki bulunması, duygusal yeme eğilimi ile şeker içeriği yüksek besinlerin tüketimi arasında bir ilişki olabileceğini düşündürmektedir.

Besin tüketim analizlerinde erkeklerin enerji ve makro besin ögesi alımlarının kadınlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. TÜBER (2022) referansları ile karşılaştırıldığında, her iki cinsiyette de enerjinin yağdan gelen yüzdesinin önerilen üst sınırın üzerinde olduğu, günlük posa alımının ise önerilen düzeyin altında kaldığı görülmüştür.

SONUÇ

Araştırmaya katılan bireylerin tamamının online yemek siparişi uygulamalarını kullandığı, %58,9'unun haftada en az bir kez sipariş verdiği ve siparişlerin en çok akşam yemeği (%71,1) öğününde tercih edildiği belirlenmiştir. Haftada 1 kereden az sipariş verenlerin toplam mutfak becerileri puan ortalaması ($163,5 \pm 44,17$), haftada 1 kez ve daha fazla sipariş veren katılımcılardan ($140,9 \pm 43,10$) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p = 0,018$). Kadınların pişirme becerileri puanı erkeklerden anlamlı derecede yüksek olmasına rağmen, BGDÖ ($p = 0,020$) ve duygusal yeme ($p = 0,022$) puanlarının da kadınlarda erkeklerden anlamlı derecede yüksek olduğu saptanmıştır. Bireylerin online yemek siparişine yönelik tutum puanları ile duygusal yeme ($r = 0,224$; $p = 0,034$) ve dışsal yeme ($r = 0,268$; $p = 0,011$) eğilimleri arasında pozitif yönlü ve anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Ayrıca, BKİ ile pişirme ve yiyecek hazırlama becerileri arasında pozitif yönlü, dışsal yeme ile BKİ arasında ise negatif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Online siparişlerde Burger/Pizza/Fast Food (%43,4) ve Döner/Çiğ Köfte (%41,1) sık sık sipariş edilen ürünler olurken, ev yemekleri (%54,4) ve sağlıklı alternatiflerin (%53,3) daha az tercih edildiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda geliştirilen öneriler şunlardır:

- **Uygulama Temelli Mutfak Atölyeleri:** Bireylerin evde yemek hazırlama öz-yeterliliklerini desteklemek amacıyla pratik, ekonomik ve besleyici yemek pişirme eğitimleri yaygınlaştırılabilir.
- **Multidisipliner Yaklaşımlar:** Diyetisyenler, psikologlar, şefler ve eğitimcilerden oluşan multidisipliner ekipler aracılığıyla, stres kaynaklı duygusal yeme eğilimlerine ve dışsal görsel uyaranlara karşı yeme farkındalığını artırıcı çalışmalar uygulanabilir.
- **Besin Profili Bilgilendirilmesi:** Dijital yemek platformlarında tüketicilerin bilinçli tercihler yapabilmesi için porsiyon başına enerji, doymuş yağ, ilave şeker ve sodyum miktarı konusunda şeffaf bilgilendirme yapılması teşvik edilebilir.
- **Sağlıklı Menü Teşvikleri:** Platformların arayüzlerinde porsiyon büyütme ve benzeri promosyonlar sınırlandırılabilir; posa, kurubaklagil ve sebze içeriği yüksek ev yemeği seçeneklerinin görünürlüğü artırılabilir.

KAYNAKÇA

- Akan, L. S., Özçelik, A. Ö., & Sürücüoğlu, M. S. (2012). Turkish Version of the Dutch Eating Behaviour Questionnaire: In Evaluation of Eating Behaviour among a Group of Turkish University Student. *Journal of US-China Medical Science*, 165. <https://doi.org/10.17265/1548-6648/2012.03.006>
- Bozan, N. (2009). Hollanda Yeme Davranışı (DEBQ) anketinin Türk üniversite öğrencilerinde geçerlik ve güvenilirliğinin sınanması [Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi].
- Cho, M., Bonn, M. A., & Li, J. J. (2019). Differences in perceptions about food delivery apps between single-person and multi-person households. *International Journal of Hospitality Management*, 77, 108-116. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.06.019>
- Eu, E. Z. R., & Sameeha, M. J. (2021). Consumers' perceptions of healthy food availability in online food delivery applications (OFD apps) and its association with food choices among public university students in Malaysia. *Frontiers in Nutrition*, 8, 674427. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.674427>
- Granheim, S. I., Løvhaug, A. L., Terragni, L., Torheim, L. E., & Thurston, M. (2022). Mapping the digital food environment: a systematic scoping review. *Obesity Reviews*, 23(1), e13356. <https://doi.org/10.1111/obr.13356>
- Gunasundari, J., & Kulkarni, S. (2023). Consumer impulsive buying behaviour towards online food delivery apps: Based on stimulus–organism–response (SOR) model. *Seybold Report on Publishing Systems*, 18(3), 507–520. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/PAFWJ>

- Keleş, G., & Ok, M. A. (2021). Pişirme ve yiyecek hazırlama becerileri ölçeğinin Türkçe geçerlik ve güvenirliğinin incelenmesi. *Beslenme Ve Diyet Dergisi*, 49(1), 26-35. <https://doi.org/10.33076/2021.BDD.1405>
- Kılınç, G. E., Vergi, Y., & Keser, A. (2025). Validation and reliability of the Turkish version of the food insecurity experience scale (FIES) among adults. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 44(1), 264. <https://doi.org/10.1186/s41043-025-00873-8>
- Lavelle, F., Spence, M., Hollywood, L., McGowan, L., Surgenor, D., McCloat, A., ... & Dean, M. (2016). Learning cooking skills at different ages: a cross-sectional study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 13(1), 119. <https://doi.org/10.1186/s12966-016-0446-y>
- Leung, C. W., Fulay, A. P., Parnarouskis, L., Martinez-Steele, E., Gearhardt, A. N., & Wolfson, J. A. (2022). Food insecurity and ultra-processed food consumption: the modifying role of participation in the Supplemental Nutrition Assistance Program (SNAP). *The American Journal of Clinical Nutrition*, 116(1), 197-205. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac049>
- Macht, M. (2008). How emotions affect eating: A five-way model. *Appetite*, 50(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.07.002>
- Partridge, S. R., Gibson, A. A., Roy, R., Malloy, J. A., Raeside, R., Jia, S. S., ... & Redfern, J. (2020). Junk food on demand: a cross-sectional analysis of the nutritional quality of popular online food delivery outlets in Australia and New Zealand. *Nutrients*, 12(10), 3107. <https://doi.org/10.3390/nu12103107>
- Reicks, M., Trofholz, A. C., Stang, J. S., & Laska, M. N. (2014). Impact of cooking and home food preparation interventions among adults: outcomes and implications for future programs. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 46(4), 259-276. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2014.02.001>
- Spence, C., Okajima, K., Cheok, A. D., Petit, O., & Michel, C. (2016). Eating with our eyes: From visual hunger to digital satiation. *Brain and Cognition*, 110, 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.08.006>
- Stephens, J., Miller, H., & Militello, L. (2020). Food delivery apps and the negative health impacts for Americans. *Frontiers in Nutrition*, 7, 14. <https://doi.org/10.3390/fnut.2020.00014>
- TÜBER. (2022). Türkiye Beslenme Rehberi. T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Van Strien, T., Frijters, J., Bergers, G., & Defares, P. (1986). The Dutch eating behaviour questionnaire (DEBQ) for assessment of restrained, emotional and external eating behaviour. *International Journal of Eating Disorders*, 5, 295-315. [https://doi.org/10.1002/1098-108X\(198602\)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1098-108X(198602)5:2<295::AID-EAT2260050209>3.0.CO;2-T)
- Wolfson, J. A., & Bleich, S. N. (2015). Is cooking at home associated with better diet quality or weight-loss intention?. *Public Health Nutrition*, 18(8), 1397-1406. <https://doi.org/10.1017/s1368980014001943>
- Yavuz, K., & Arslan, R. (2024). Online Yemek Siparişlerine Yönelik Tutum Ölçeğinin Geliştirilmesi: Development of The Attitude Scale Towards Online Food Orders. *Sosyal Bilimlerde Nicel Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 96-116.

L- SİTRULİN VE KAFEİN ALIMININ EGZERSİZ SONRASI OTONOM TOPARLANMA VE NÖROMUSKÜLER VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Merve KOCA

Karamanoğlu Mehmetbey University, Institute of Health Sciences, Department of Physiology,
70100 Merkez, Karaman

ORCID ID: 0009-0000-6309-4540

Prof. Dr. Füsün Sunar

Karamanoğlu Mehmetbey University, Department of Physiology, 70100 Merkez, Karaman

ORCID ID:0000-0002-8746-5921

ÖZET

Bu çalışmanın amacı bireylerde L- sitrulin alımının ve kafein alımının egzersiz sonrası kalp atış hızı toparlanması ve bireylerin nöromusküler verimliliği üzerindeki etkisinin yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular incelenerek belirlenmesidir.

Egzersiz yapıldığı sırada vücuttaki kasların ve çeşitli vücut dokularının artan metabolik ihtiyacına karşılık kalp atış hızında artış görülür. Kalp atış hızında görülen değişiklik beyinde gerçekleşen merkezi ve periferik mekanizmalarla denetlenmektedir. Bu denetleme ile otonom sinir sisteminin bir yanıt oluşturmaya sağlanarak parasempatik etki azalırken sempatik etkide artış gözlenir. Yapılan egzersizin sona erdirilmesiyle kalp atış hızı da azalma gösterir. Kalp atış hızındaki azalma sırasıyla ani bir düşüş gözlemlenen hızlı faz ve ardından kademeli şekilde düşüş gerçekleşen yavaş faz olmak üzere iki ayrı fazdan oluşur ve otonom iyileşmeyle yeniden temel değerlere ulaşabilmektedir. Nöromusküler verimlilik (NME) kasın aktivasyon derecesine göre kuvvet üretme kabiliyeti olarak bilinmektedir.

Kafein, metilksantinler grubuna ait alkaloid bir maddedir. Etkilerini a1 ve a2 isimli adenosin reseptörlerinin antagonize edilmesi ve kanda katekolaminlerin salgılanması ile ve aynı zamanda sempatik sinir sistemi aktivitesinin artırılması ile göstermektedir. Yapılan meta-analiz çalışmaları ve sistematik analiz çalışmalarından elde edilen bulgulara göre kafein alımı sonrası kas gücü ve dayanıklılığında iyileşmeler olduğu bilinmektedir.

L-sitrulin aminoasitinin en zengin doğal kaynağı karpuz olarak bilinmektedir ve L-sitrülin esansiyel olmayan aminoasitler sınıfına dahildir. L-sitrulin vücutta etkilerini sistemik dolaşımda L-arginin aminoasitinin konsantrasyonunu doza bağımlı olarak artırarak ve nitrik okside bağlı uyarımı güçlendirirerek göstermektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde kafein takviyesinin sempatik sistemi aktive edici özelliğinden dolayı egzersiz sonrası gecikmiş otonomik toparlanmaya yol açabileceği belirlenmiştir. Ve kafein takviyesinin nöromusküler verimlilik üzerindeki etkisi incelendiğinde kafeinin NME üzerinde iyileşme sağlayabileceği belirlenmiştir. Bazı çalışmalar L-sitrulin takviyesinin otonom toparlanma üzerinde olumlu etkileri olduğunu bildirirken bu konuda çelişkili çalışmalar bulunmaktadır. L-sitrülin takviyesi nitrat konsantrasyonun artmasına bağlı; nöromusküler verimlilikte iyileşme sağlayabilir.

Anahtar kelimeler: Kafein, L-sitrulin, otonom iyileşme, nöromusküler verimlilik, egzersiz

THE EFFECT OF L-CITRULLINE AND CAFFEINE INTAKE ON POST-EXERCISE AUTONOMOUS RECOVERY AND NEUROMUSCULAR EFFICIENCY

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the effects of L-citrulline and caffeine intake on post-exercise heart rate recovery and neuromuscular efficiency in individuals by examining the findings obtained from previous studies. During exercise, heart rate increases in response to the increased metabolic needs of muscles and various body tissues. The change in heart rate is regulated by central and peripheral mechanisms in the brain. This regulation causes the autonomic nervous system to generate a response, resulting in a decrease in parasympathetic effects while an increase in sympathetic effects is observed. Heart rate decreases upon cessation of exercise. This decrease in heart rate consists of two phases: a rapid phase with a sudden drop followed by a slow phase with a gradual decrease, and it can return to baseline values with autonomic recovery. Neuromuscular efficiency (NME) is known as the ability of a muscle to produce force according to its level of activation. Caffeine is an alkaloid substance belonging to the methylxanthine group. Caffeine exerts its effects by antagonizing adenosine receptors called $\alpha 1$ and $\alpha 2$, releasing catecholamines into the blood, and increasing sympathetic nervous system activity. Meta-analyses and systematic analyses have shown that caffeine intake leads to improvements in muscle strength and endurance. Watermelon is known as the richest natural source of the amino acid L-citrulline, which belongs to the class of non-essential amino acids. L-citrulline exerts its effects in the body by increasing the concentration of L-arginine in systemic circulation in a dose-dependent manner and by strengthening nitric oxide-dependent stimulation. Studies have shown that caffeine supplementation, due to its sympathetic system activating properties, can lead to delayed autonomic recovery after exercise. Furthermore, studies examining the effect of caffeine supplementation on neuromuscular efficiency have shown that caffeine can improve NME (Neuromuscular Emission). While some studies report positive effects of L-citrulline supplementation on autonomic recovery, conflicting studies exist on this topic. L-citrulline supplementation may improve neuromuscular efficiency due to increased nitrate concentration.

Keywords: Caffeine, L-citrulline, autonomic recovery, neuromuscular efficiency, exercise

1. GİRİŞ

Kafein metilksantinler grubuna ait bir maddedir. Dünya üzerinde en fazla tüketilen psikoaktif maddelerden biri olması sebebiyle, insan yaşamı ile yakından ilişkilidir. Kafein günlük yaşamda çeşitli besinlerle tüketilmektedir ve genel olarak kahve çekirdeğinden kafein eldesi sağlanırken; çay gibi farklı içeceklerde de kafein bulunmaktadır (Mahoney ve ark., 2019). Bireylerin kahve aracılığıyla aldığı kafein miktarı diğer besinlerin tüketimiyle alınan kafein miktarının 10 katına denk gelmektedir. Etkilerini, adenosin reseptörleri olarak bilinen A1 ve A2 reseptörlerini antagonize ederek ve plazmada katekolamin salınımını sağlayarak sempatik sinir sisteminin (SNS) aktivasyonunu artırarak göstermektedir. Kafeinin bu etkisi gecikmiş otonomik toparlanmaya yol açabileceğini düşündürmektedir. Aynı zamanda kafeinin kas yorgunluğuna kadar geçen süreyi uzatan etkisinden dolayı nöromusküler verimlilikte iyileşme sağlayabileceği düşünülmektedir. L-sitrülin aminoasitinin asıl kaynağı karpuzdur ve esansiyel olmayan aminoasitler sınıfında yer alır (Gonzalez ve ark., 2020). L-sitrülin L-arginin aminoasitinin öncüsüdür (Bailey ve ark., 2016). Ayrıca L-sitrülin amonyağın vücut dışına atılımını sağlayan üre döngüsüne katılan önemi yok sayılamayacak bir bileşen olarak

bilinmektedir. Yüksek yoğunluklu egzersizlerde; egzersizin gerçekleştirildiği kaslarda amonyak üretimi ve inosin monofosfat sentezi artışının kastaki yorgunluğu artırdığı bildirilmiştir. Kandaki yüksek amonyak yoğunluğu, glikoliz hızını artırarak ve kanda laktat birikimi oluşturarak yorgunluk durumunun artışına sebep olmaktadır. L-sitrulin takviyesinin ise , üre döngüsü aracılığıyla amonyak detoksifikasyonu sağlayabileceği, laktat üretimini artırabileceği ve pirüvatın aerobik yolla kullanımına imkan sağlayarak kas fonksiyonunda iyileşme sağlayabileceği ve yorgunluk durumunda azalış görülmesini sağlayabileceği bildirilmiştir (Gonzalez ve ark., 2020). L-sitrülinin bu etkisi nöromusküler verimlilikte iyileşme sağlayabileceğini düşündürmektedir. Aynı zamanda oral yolla alınan L-sitrulin takviyesi verimli bir şekilde L-arginine ve buna bağlı olarak da nitrik oksite dönüştürülmektedir. Kanda bulunan nitrik oksitin hızlı bir şekilde nitrit ve nitrata (NOx) parçalanmasından dolayı nitrat in vivo nitrik oksit üretiminin habercisidir. (Figueroa ve ark., 2017). Bu etki L-sitrülin takviyesinin otonom iyileşmede fayda sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Bu literatür taramasının amacı L-sitrülin ve kafein takviyesinin veya diyetle alımının otonom toparlanma üzerinde ve nöromusküler verimlilik üzerindeki etkilerini akademik veritabanlarında mevcut çalışmalar ışığında ve literatürde mevcut çalışmalardan elde edilen bulgular incelenerek açıklamaktır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Egzersiz Sonrası Otonom Toparlanma

Sağlıklı yetişkinlerde, rastgele bir zaman diliminde tahmin edilen kalp atışı, kalp atış hızında azalışa sebep olan parasempatik sinirlerin ve kalp atış hızını artıran sempatik sinirlerin sinir çıkışının açık olarak etkisini göstermektedir. Bireyler istirahat durumundayken, sempatik sinirler ve parasempatik sinirler tonik olarak aktiftir ve vagal etkiler baskındır (Shaffer ve ark., 2014).

Vücuttaki kaslar ile farklı vücut dokularının artan metabolik ihtiyacına yanıt olarak egzersiz yapıldığı sırada kalp atış hızı da artış göstermektedir. Kalp atış hızında meydana gelen artış; beyinde bulunan medulla merkezlerine afferent sinir lifleri ile iletim sağlayan merkezi ve periferik mekanizmaların gerçekleştirdiği eylemler aracılığıyla düzenlenmektedir. Bu düzenleme otonom sinir sistemi dallarının uygun bir efferent yanıt oluşturmaya ve bu sebepten dolayı parasempatik aktivasyonda azalmaya ve sempatik aktivasyonda artışa neden olur. Egzersizin sona ermesiyle, metabolik aktivasyonun kademeli olarak azalış gösterdiği ve sonucunda kalp atış hızında da azalma meydana geldiği görülmüştür. Egzersizden hemen sonra kalp atış hızının hızlı faz adı verilen ani bir düşüş ile daha sonra yavaş faz adı verilen kademeli olarak gerçekleşen düşüş ile üstel olarak iyileşme gösterdiği ve yeniden stabil değerlerine ulaştığı gözlenmiştir (Peçanha ve ark., 2017).

2.1.1. Hrv parametresi ve ölçümü

HRV adı verilen kalp atış hızı değişkenliğinin nicelleştirilmesi birkaç hesaplama aşaması gerektirmektedir. Bu durum kalp atış hızı değişkenliği ölçümünde önemli bir ayrıntıdır. İlk olarak, verileri toplama aşaması önemli derecede farklılıklar gösterebilmektedir (Michael ve ark., 2017).

2.1.2. Kalp atış hızındaki toparlanmanın değerlendirilmesi

Kalp atış hızındaki toparlanma değerlendirilirken kullanılması uygun olan çeşitli indeks önerileri bildirilmiştir. Bildirilen bu indeksler farklı yollarla ortaya çıkarılmış olsa da fizyolojik olarak anlamları incelendiğinde kullanılacak indeks genel olarak değerlendirilen kalp atış hızı

iyileşme fazına bağlı belirlenmektedir. Bundan dolayı, kullanılacak indeksler ile yalnızca hızlı toparlanma fazı kapsama alınarak parasempatik reaktivasyon etkisi gözlemlendiği anlaşılır veya hızlı iyileşme fazı ve yavaş fazlar aynı kapsama alınarak hem parasempatik reaktivasyon etkisi gözlemlendiği hem de sempatik geri çekilme etkisi gözlemlendiği anlaşılmaktadır (Peçanha ve ark., 2017)

2.1.3. Hızlı faz indeksleri: HRR30 ve HRR60

Hızlı iyileşme fazını içeren kalp atış hızı toparlanmasını değerlendirmenin en kolay yöntemlerinden biri, egzersizin hemen sonrasında ölçülen en yüksek kalp atış hızı değeri ile 30 s ve 60 s iyileşme sonrası gözlenen kalp atış hızı değerleri arasındaki farkın hesaplanması ile iyileşmenin birinci dakikasındaki kalp atış hızı iyileşmesinin hesaplanması esasına dayanan yöntemdir.

Farmakolojik blokaj kullanılan bazı çalışmalar sonucunda, hem 30 s iyileşmenin ardından kalp atış hızı hem de 60 s iyileşmenin ardından kalp atış hızı asıl olarak yeniden parasempatik aktivasyonu temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Peçanha ve ark., 2017).

2.1.4. Kısa vadeli zaman sabiti – t30

Kısa vadeli zaman sabiti olarak ifade edilen t-30 indeksi, iyileşmenin ilk 30 saniyesi içinde kalp atış hızı kullanılarak hesaplanmaktadır (Peçanha ve ark., 2017). T30 indeksi sempatik sistem aktivasyonundan ve egzersiz yükünden neredeyse bağımsızdır. Ancak ihtiyaç duyulan matematiksel işlemlerin zor olmasından dolayı uygulanabilirlik açısından kısıtlı bir indekstir.

2.1.5. Hızlı faz ve yavaş fazları kapsayan indeks-HRR 300s

Egzersizin sonlandırılmasının ardından gözlemlenen 300. Saniye içerisindeki kalp atış hızının hesaplanması esasına dayanan bir indekstir. Çoğunlukla azalma eğrisi dikkate alınarak kalp atış hızı değişkenliğinin değerlendirilmesine olanak sağlayan kolay bir yöntemdir. 1. dakikadaki parasempatik etkinin aktif olduğu kalp atış hızındaki önemli bir azalmanın ardından, HRR düşüşü daha kademeli bir şekilde ilerlemektedir. Bir çalışma yavaş azalmanın temelindeki otonomik rolün; yavaş azalmanın kan plazmasındaki noradrenalin yoğunluğunun azalmasına paralel olarak gerçekleştiğini göstererek açıklamıştır (Perini ve ark., 1989).

2.2. Nöromusküler verimlilik (NME)

Nöromusküler verimlilik (NME), kasın aktivasyon derecesine göre kuvvet üretebilme kabiliyeti olarak bilinmektedir. NME kasın fonksiyonel durum yanıtını ve yine aynı kasın sinirsel uyarılabilirliğini değerlendirmektedir (Neto ve ark., 2021). Nöromusküler performans değerlendirilirken kullanılması uygun olan yöntemlerden bir tanesi, kasılma elemanlarının sarkolemmadan gelen aksiyon potansiyeline verdiği yanıtı ölçmek ve bununla ilişkili olarak nöromusküler performans ve kuvvet üretimi arasında bir bağ kurmaktır. Bu sayede, belli seviyede bir kuvvet üretmek için daha düşük aktivasyona gereksinim duyan bireyler nöromusküler verimlilik açısından daha verimli bireyler olarak kabul edilmektedir (Chaves ve ark., 2012). NME,ard arda kas kasılmaları gerçekleşirken elektriksel aktivitenin kademeli olarak artmasının ilişkisini değerlendirir (Neto ve ark., 2021). Ayrıca nöromusküler verimlilik, sağlık alanındaki profesyonellerin bazı spor antrenmanları ve rehabilitasyon süreçlerinde meydana gelen kasın tepkisini ve fonksiyonel performansı değerlendirmesine imkan tanıyan bir tarama aracı olarak bilinmektedir. Yapılan bazı çalışmalara göre nöromusküler verimlilik , sinirsel yönle daha duyarlı olabilmektedir (Aragão ve ark., 2015). Ayrıca nitrat yönünden zengin takviyeler, nöromusküler verimlilikte ve nöromusküler fonksiyonda artış sağlayabilir (Flanagan ve ark., 2016).

2.3. Kafein

Kafein, çeşitli bitki yapraklarında, meyvelerde ve bazı bitkilerin tohumlarında doğal olarak yer alırken; yapay olarak üretilmesi de mümkündür ve zaten üretilmiş olan gıdalara da kafein eklenmesi mümkündür (Mitchell ve ark., 2014). Yetişkinlerin gün içerisindeki kafein alımı incelendiğinde kafein alımında en çok tercih edilen yöntemlerden bir tanesi kafeinin bitki çayları aracılığıyla tüketimi ile ve sıklıkla kahve tüketimi ile alınmasıdır. Fakat bu durum; bireylerin yaşına ve yaşadığı ülkeye bağlı olarak farklılık göstermektedir (Gutiérrez-Hellín ve ark., 2023).

Vücuda alınan kafeinin genellikle sindirim sistemi aracılığıyla hızlıca emilimi gerçekleşir ve vücuda alınmasından sonra 1 saat içerisinde en yüksek yoğunluğa ulaşır (Evans ve ark., 2026). Kafein kan plazmasında albümine bağlanmaktadır (Gerdes ve ark., 2022). Metabolik etki ile karaciğerde paraksantin, teofilin ve teobromin gibi metabolitler enzim aktivasyonu aracılığıyla metabolize edilmektedir. Kafeinin ve karaciğerde enzim etkisiyle ortaya çıkan metabolitlerinin %3-10'u idrar yoluyla vücut dışına atılmaktadır ve vücuda kafein alınmasından sonra 3-6 saat içinde kafein konsantrasyonu %50-75 oranında azalmaktadır (Evans ve ark., 2026). Kafein etkilerini, a₁ ve a₂ isimleriyle adlandırılan adenosin reseptörlerinin antagonizmi ve kan plazmasında katekolaminlerin salınmasını sağlayarak sempatik aktiviteyi artırarak ortaya çıkarmaktadır. Kardiyovasküler açıdan incelendiğinde, kafeinin takviye olarak alımı veya diyetle alımının egzersiz gerçekleşirken taşikardiye ve kan basıncında yükselmeye neden olmaktadır. Aynı zamanda gecikmiş kas yorgunluğu sağlarken; algılanan eforda düşüş yaşanmaktadır (Aguilar ve ark., 2020; Antonio ve ark., 2024; Guest ve ark., 2021; Martins ve ark., 2020).

Kafein bireyler üzerindeki etkilerini birden fazla mekanizma aracılığıyla göstermektedir. Kafeinin etki mekanizmaları; adenosin reseptörlerinin bloke edilmesi, fosfodiesteraz inhibisyonu ve hücre içinde kalsiyum depolamasında mobilizasyon olarak sıralanabilir (Antonio ve ark., 2024). Ayrıca kafein lipofilik yapıda olması sebebiyle, kan-beyin bariyerinden geçebilir (Ruiz-Moreno ve ark., 2022). Ayrıca, kafeinin adenosin reseptörlerini bloke edici etkisi, dopamin, noradrenalin hormonları ve glutamat salgılanmasını uyarak bireylerin ruh halinde pozitif etkiler oluşturur. Ve yine kafein iskelet kasında ve yağ dokusunda fosfodiesteraz enzimlerini bloke eder ve bu sıklık adenosin monofosfat konsantrasyonunu artırır. Bu olayın sonucunda, yüksek sıklık adenosin monofosfat konsantrasyonu hormon duyarlı lipaz aktivasyonunu sağlayarak glikojen fosforilaz aktivitesini inhibe eder. Bunun sonucunda, glikojen yerine yağ asidi oksidasyonunda artış meydana gelir. Bu etki ile yorgunluğun başlangıç zamanı geciktirilebilir (Martins ve ark., 2020).

Kafein, sarkoplazmik retikulum sisternalarından sitoplazma içerisine kalsiyum salınmasını uyarır ve aynı zamanda kalsiyumun sarkoplazmik retikulum sisternaları içerisine geri alınmasını da engellemektedir. Bu etki ile kafein iskelet kasında kasılmaya yardımcı olabilir (Antonio ve ark., 2024).

2.3.1. Kafeinin ergojenik etkileri

Çift kör, çaprazlama, randomize bir çalışmada kafeinli sakızın egzersiz performansına etkilerini incelemek amacıyla katılımcı bireyler kafeinli sakızı çiğnemelerinin ardından, koşu bandı üzerinde iki yorgunluk testi ve diz ekstansörünün maksimum gönüllü kasılmasını tamamlayarak nöromusküler yorgunluğun oluşmasına kadar geçen zaman ve yorgunluk durumu değerlendirilmiştir. Nöromusküler yorgunluk durumu oluşana kadar geçen süre, kafeinli sakız çiğneyen grupta plasebo grubuna göre iyileşme göstermiştir. Bireyler nöromusküler yorgunluk açısından incelendiğinde yorgunluğun durumu ve yorgunluk süresi

açısından iki grup arasında anlamlı bir fark görülememiştir (Dittrich ve ark., 2021). Bir başka çalışmada kafeinin dayanıklılık egzersizi üzerine etkileri incelenirken genotipin etkisi de değerlendirilmiştir. 3 ziyaret süresince, katılımcılar bisikletle maksimum egzersiz testi ve bisikletle zaman denemesinden oluşan egzersiz protokolü ısınmasından 25 dakika önce susuz kafein kapsülleri (2 ya da 4 mg/kg) veya plasebo tüketmiştir, aynı zamanda çalışmaya dahil olan bireylerin CYP1A2 genotipleri değerlendirilmiştir. Bisikletle zaman denemesi süreleri gözlemlendiğinde, 4 mg susuz kafein kapsülü tüketen grupta plasebo grubuna göre %4 oranında azalma görülmüştür. 4 mg susuz kafein kapsülü tüketen grup ve 2 mg susuz kafein kapsülü tüketen grup ile plasebo grubu karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bildirilmemiştir. Ancak, CYP1A2 genotipi olarak bilinen ve yavaş metabolize edici (CC homozigot, yavaş) olarak nitelendirilen genotipe sahip katılımcıların performansında düşüş gözlenmiştir. Bu genotipe sahip bireyler kafeinin olumlu veya olumsuz etkilerine diğer bireylere kıyasla daha yatkın hale gelmektedir. Bu bulgulara göre, kafeinin dayanıklılık egzersizlerindeki iyileştirici etkisi doğrulanmaktadır ve bireylerin genotipe bağlı kişisel kafein tüketim önerilerinden fayda göreceği düşünülmektedir (Guest ve ark., 2018). Çelişkili bulgulara rağmen, yapılan meta-analiz çalışmaları ve sistematik analiz çalışmaları incelendiğinde kafein takviyesi sonrası güç ve kas dayanıklılığında iyileşmeler olduğu bildirilmektedir (Grgic ve ark., 2018; W. Wu ve ark., 2024).

2.3.2. Kafein tüketim önerileri

Uluslararası Spor Beslenmesi Derneği'nin önerisine göre, bireylerde egzersiz sırasında bireylerin egzersiz performansında artış gözlenmesi için vücut ağırlığının 3-6 mg/ kg'ı kadar kafein tüketimi önerilmektedir. Bireyler üzerinde maksimum seviyede ergojenik etki elde edebilmek için kafein alımı yarışmanın veya egzersizin 30 ila 60 dakika öncesinde gerçekleşmelidir. Kafein alımına verilen yanıtlar, tolerans, vücut kütlesi ve hassasiyet durumlarına göre bireyler arasında değişiklik gösterebilmektedir (Antonio ve ark., 2024).

2.4. L-sitrulin

L- sitrulin çoğunlukla karpuzda bulunan ve esansiyel olmadığı bilinen amino asit çeşiti olarak bilinmektedir. Karpuz, 0.7 ila 3.6 mg/g arasında değişen miktarda L-sitrulin içermektedir ve L-sitrulin bakımından en zengin doğal kaynak olarak bilinmektedir (Gonzalez ve ark., 2020). L-sitrulin yine bir aminoasit çeşiti olan L-argininin öncüsüdür (Bailey ve ark., 2016). Hazır olarak üretilen veya doğal olarak karpuzun yapısında bulunan L-sitrulin, üre döngüsüne katılmaktadır ve L-arginine dönüştürülmektedir (Figueroa ve ark., 2017). Daha önceki yıllarda yapılan insan çalışmaları ve hayvan çalışmaları, L-sitrulinin arginaz enziminin inhibisyonuna yol açtığını bildirmiştir. Arginaz enziminin bloke olması, endotel disfonksiyonunu hafifletmek amacıyla tercih edilebilir (Figueroa ve ark., 2017). Yüksek yoğunluklu egzersizde; egzersizi gerçekleştiren kaslarda amonyak ve inosin monofosfat maddelerinin üretiminin artışının kas yorgunluğunda artışa sebep olduğu bildirilmiştir. Kanda yüksek amonyak yoğunluğunun, glikoliz hızını artırdığı ve kanda laktat birikimi meydana getirdiği bilinmektedir. Bu yorgunluğun artışına neden olmaktadır. L-sitrulin takviyesi, üre döngüsü katılarak amonyak detoksifikasyonuna yardımcı olabilmektedir , laktat üretimini artırabilir ve pirüvatın aerobik kullanımını sağlayarak kas fonksiyonunda iyileşme sağlar ve aynı zamanda yorgunluğu azaltabilmektedir (Gonzalez ve ark., 2020).

2.4.1. Diyetle alınan L-arginin ve L-sitrulinden NO sentezlenmesi

Ağızdan L-arginin, bağırsakta yer alan arginaz enzimi aracılığıyla üre ve ornitine (ORN) dönüştürülmektedir ve parçalanmaktadır. Bu olay kanda bulunan L-arginin aminoasitinin biyoyararlanımında düşüşe sebep olur. L-sitrulinin, bağırsakta yer alan arginazı inhibe

edebilecek etkiye sahip olduğu bilinmektedir. L-sitrulin aminoasidi böbrekte meydana gelen arginosüksinat sentaz etkisiyle argininosüksinata dönüştürülür; arginosüksinat liyaz (ASL) etkisi ile de L-arginine dönüştürülür. Endotel hücrelerinde gerçekleşen L-sitrülin ve nitrik oksit üretimi endotelial nitrik oksit sentaz tarafından L-argininin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir nitrik oksit, damar düz kaslarına dağılarak damar düz kaslarında çözünür guanilat siklazı uyarmaktadır ve ardından siklik guanozin monofosfatın aktivasyonu gerçekleşir. Bu reaksiyon kalsiyumun sarkoplazmadan sarkoplazmik retikulum içerisine çekilme reaksiyonunu başlatmaktadır. Kalsiyum konsantrasyonu azaldıkça, düz kastaki gevşeme vazomotor aktivitede azalmaya sebep olmaktadır (Figuroa ve ark., 2017).

2.4.2. L-sitrulin ve karpuz tüketiminin kan basıncı üzerine etkileri

Kanıtlar incelendiğinde, dinlenim halindeki kan basıncı seviyesinin L-sitrulin takviyesinin kan basıncını düşürücü etkisine etkil edebileceği düşünülmektedir. Yapılan bazı çalışmalar sonucunda, kalp yetmezliği hastalarında 8 hafta süren L-sitrulin takviyesi sonrası brakiyal sistolik kan basıncı üzerinde azalma ve yine diyastolik kan basıncı üzerinde azalmalar gözlenmiştir. Bununla birlikte, normal kan basınçlı yetişkin bireylerde kronik olarak L-sitrulin takviyesi alımı ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda çelişkili bulgular bildirilmektedir (Figuroa ve ark., 2017; Massa ve ark., 2016).

2.4.3. L-sitrulinin ergojenik etkileri

Orta ve yüksek yoğunluklu dayanıklılık egzersizlerinin yapıldığı sırada iskelet kası oksijenlenmesinde iyileşme sağlanabilmesi için, l-sitrülin takviyesi alımı en az 7 gün süren takviye alımı uygulanmalı ve günlük en az 6 g l-sitrülin alımının gerekli olduğu sonucuna varılmaktadır. NO üretiminin, 7 gün süreyle L-sitrulin takviyesi ve 16 gün boyunca devam ettirilen karpuz suyu tüketimi sonrası sırası ile %28 ve %90 oranlarında artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna göre daha uzun süre boyunca uygulanması sağlanan takviye uygulaması ve/veya daha yüksek dozlu takviye uygulamasının ardından endotel nitrik oksit üretiminde daha önemli bir iyileşme sağlanabileceği düşünülmektedir (Figuroa ve ark., 2017).

3. SONUÇLAR

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular incelendiğinde kafein takviyesinin sempatik sistem aktivasyonunu artırıcı özelliğinden dolayı egzersiz sonrası gecikmiş otonomik toparlanmaya yol açabileceği belirlenmiştir. Ayrıca kafein takviyesinin nöromusküler verimlilik üzerindeki etkisi incelendiğinde kafeinin merkezi ve periferik mekanizmalar aracılığıyla NME açısından iyileşme sağlayabileceği belirlenmiştir. Bazı çalışmalar L-sitrulin takviyesinin otonom toparlanma üzerinde olumlu etkileri olduğunu bildirirken bu konuda çelişkili çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca L-sitrulin takviyesi nitrat konsantrasyonunu artırıcı özelliğinden dolayı nöromusküler verimlilikte iyileşme sağlayabilir.

4. KAYNAKÇA

- Aguiar, A. S., Jr., Speck, A. E., Canas, P. M., & Cunha, R. A. (2020, Aug 7). Neuronal adenosine A(2A) receptors signal ergogenic effects of caffeine. *Sci Rep*, 10(1), 13414. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69660-1>
- Antonio, J., Newmire, D. E., Stout, J. R., Antonio, B., Gibbons, M., Lowery, L. M., Harper, J., Willoughby, D., Evans, C., Anderson, D., Goldstein, E., Rojas, J., Monsalves-Álvarez, M., Forbes, S. C., Gomez Lopez, J., Ziegenfuss, T., Moulding, B. D., Candow, D., Sagner, M., & Arent, S. M. (2024, Dec). Common questions and misconceptions about caffeine

- supplementation: what does the scientific evidence really show? *J Int Soc Sports Nutr*, 21(1), 2323919. <https://doi.org/10.1080/15502783.2024.2323919>
- Bailey, S. J., Blackwell, J. R., Williams, E., Vanhatalo, A., Wylie, L. J., Winyard, P. G., & Jones, A. M. (2016, Sep 30). Two weeks of watermelon juice supplementation improves nitric oxide bioavailability but not endurance exercise performance in humans. *Nitric Oxide*, 59, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2016.06.008>
- Chaves, S. F., Marques, N. P., Silva, R. L., Rebouças, N. S., de Freitas, L. M., de Paula Lima, P. O., & de Oliveira, R. R. (2012, Apr). Neuromuscular efficiency of the vastus medialis obliquus and postural balance in professional soccer athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Muscles Ligaments Tendons J*, 2(2), 121-126.
- Dittrich, N., Serpa, M. C., Lemos, E. C., De Lucas, R. D., & Guglielmo, L. G. A. (2021, Jun 1). Effects of Caffeine Chewing Gum on Exercise Tolerance and Neuromuscular Responses in Well-Trained Runners. *J Strength Cond Res*, 35(6), 1671-1676. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002966>
- Evans, J., Richards, J. R., & Battisti, A. S. (2026). Caffeine. In *StatPearls*. StatPearls Publishing Copyright © 2026, StatPearls Publishing LLC.
- Figuroa, A., Wong, A., Jaime, S. J., & Gonzales, J. U. (2017, Jan). Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 20(1), 92-98. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000000340>
- Flanagan, S. D., Looney, D. P., Miller, M. J., DuPont, W. H., Pryor, L., Creighton, B. C., Sterczala, A. J., Szivak, T. K., Hooper, D. R., Maresh, C. M., Volek, J. S., Ellis, L. A., & Kraemer, W. J. (2016). The Effects of Nitrate-Rich Supplementation on Neuromuscular Efficiency during Heavy Resistance Exercise. *J Am Coll Nutr*, 35(2), 100-107. <https://doi.org/10.1080/07315724.2015.1081572>
- Gerdes, C., Berghäuser, A. M., Hipp, J., Bäumlein, M., Hinrichs, S., Thomassen, J. C., Hoffmann, S., & Gerdes, B. (2022, May). Coffee break has no impact on laparoscopic skills: a randomized double-blinded placebo-controlled parallel-group trial. *Surg Endosc*, 36(5), 3533-3541. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08675-9>
- Gonzalez, A. M., & Trexler, E. T. (2020, May). Effects of Citrulline Supplementation on Exercise Performance in Humans: A Review of the Current Literature. *J Strength Cond Res*, 34(5), 1480-1495. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000003426>
- Grgic, J., Trexler, E. T., Lazinica, B., & Pedisic, Z. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*, 15, 11. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0>
- Guest, N., Corey, P., Vescovi, J., & El-Sohemy, A. (2018, Aug). Caffeine, CYP1A2 Genotype, and Endurance Performance in Athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 50(8), 1570-1578. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001596>
- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021, Jan 2). International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Gutiérrez-Hellín, J., Del Coso, J., Espada, M. C., Hernández-Beltrán, V., Ferreira, C. C., Varillas-Delgado, D., Mendoza Laiz, N., Roberts, J. D., & Gamonales, J. M. (2023, Oct 10). Research Trends in the Effect of Caffeine Intake on Fat Oxidation: A Bibliometric and Visual Analysis. *Nutrients*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/nu15204320>

- Kim, I. Y., Schutzler, S. E., Schrader, A., Spencer, H. J., Azhar, G., Deutz, N. E., & Wolfe, R. R. (2015, Dec 1). Acute ingestion of citrulline stimulates nitric oxide synthesis but does not increase blood flow in healthy young and older adults with heart failure. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 309(11), E915-924. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00339.2015>
- Mahoney, C. R., Giles, G. E., Marriott, B. P., Judelson, D. A., Glickman, E. L., Geiselman, P. J., & Lieberman, H. R. (2019, Apr). Intake of caffeine from all sources and reasons for use by college students. *Clin Nutr*, 38(2), 668-675. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.04.004>
- Martins, G. L., Guilherme, J., Ferreira, L. H. B., de Souza-Junior, T. P., & Lancha, A. H., Jr. (2020). Caffeine and Exercise Performance: Possible Directions for Definitive Findings. *Front Sports Act Living*, 2, 574854. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.574854>
- Massa, N. M., Silva, A. S., Toscano, L. T., Silva, J. D., Persuhn, D. C., & Gonçalves Mda, C. (2016, Aug). Watermelon extract reduces blood pressure but does not change sympathovagal balance in prehypertensive and hypertensive subjects. *Blood Press*, 25(4), 244-248. <https://doi.org/10.3109/08037051.2016.1150561>
- Michael, S., Graham, K. S., & Davis, G. M. O. (2017). Cardiac Autonomic Responses during Exercise and Post-exercise Recovery Using Heart Rate Variability and Systolic Time Intervals- A Review. *Front Physiol*, 8, 301. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00301>
- Mitchell, D. C., Knight, C. A., Hockenberry, J., Teplansky, R., & Hartman, T. J. (2014, Jan). Beverage caffeine intakes in the U.S. *Food Chem Toxicol*, 63, 136-142. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.10.042>
- Neto, F. R., Costa, R. R. G., Tanhoffer, R. A., Leal, J. C., Bottaro, M., & Carregaro, R. L. (2021). Neuromuscular efficiency of men with high and low spinal cord injury levels compared with non-disabled participants. *Isokinetics and Exercise Science*, 29(2), 209-218.
- Peçanha, T., Bartels, R., Brito, L. C., Paula-Ribeiro, M., Oliveira, R. S., & Goldberger, J. J. (2017, Jan 15). Methods of assessment of the post-exercise cardiac autonomic recovery: A methodological review. *Int J Cardiol*, 227, 795-802. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.10.057>
- Perini, R., Orizio, C., Comandè, A., Castellano, M., Beschi, M., & Veicsteinas, A. (1989). Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58(8), 879-883. <https://doi.org/10.1007/bf02332222>
- Ruiz-Moreno, C., Gutiérrez-Hellín, J., Lara, B., & Del Coso, J. (2022, Sep). Effect of caffeine on muscle oxygen saturation during short-term all-out exercise: a double-blind randomized crossover study. *Eur J Nutr*, 61(6), 3109-3117. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02875-2>
- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Front Psychol*, 5, 1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>
- Wu, S., & Jiang, H. (2024, Jul 6). Examining the impact of differing caffeine dosages in conjunction with plyometric training on physiological adaptations in basketball players. *Sci Rep*, 14(1), 15571. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66275-8>

SEDANter VE REKREATİF AKTİF GENÇLERDE BİSİKLET ERGOMETRESİ TESTİ SIRASINDA KAS AKTİVASYON PATERNİ VE DİNAMİK KAS GÜCÜ ÜZERİNE KOMBİNE ERGOJENİK DESTEKLERİN ETKİSİ

Emine CERANOĞLU

Karamanoğlu Mehmetbey University, Institute of Health Sciences, Department of Physiology,
70100 Merkez, Karaman

ORCID ID: 0009-0009-9507-6078

Prof. Dr. Füsün SUNAR

Karamanoğlu Mehmetbey University, Institute of Health Sciences, Department of Physiology,
70100 Merkez, Karaman

ORCID ID: 0000-0002-8746-5921

ÖZET

Bisiklet performansının değerlendirilmesinde özellikle alt ekstremité kaslarının farklı pedal fazlarında belirgin aktivasyon gösterdiği; artan iş yüküyle birlikte kas aktivasyonunun ve nöromusküler koordinasyonun değişebildiği bildirilmektedir. İncelenen beş ergojenik takviye, sedanter ve rekreasyonel olarak aktif bireylerde bisiklet ergometresi performansında farklı etkiler göstermiştir. Kafein (3-6 mg/kg), egzersiz süreleri boyunca en tutarlı faydaları sağlamış olup, zaman denemesi tamamlama oranında %1,7-4,6 ve maksimum güçte %2,53 oranında iyileşme sağlamıştır. Nitrat takviyesi (300-600 mg egzersizden 2-3 saat önce), egzersiz verimliliğini iyileştirerek, oksijen tüketimini azaltarak ve yorgunluğa kadar geçen süreyi uzatarak, düzenli olarak spor yapan kişilerde dayanıklılık performansını etkili bir şekilde artırmıştır. Sodyum bikarbonat (0,3 g/kg), performansı %1,6-12 oranında iyileştirmiş ve yapılan toplam işi %10,8-17,11 oranında artırmıştır. β -alanin (3,2-6,4 g/gün, 2-10 hafta) kas içi pH tamponlaması yoluyla asidozu geciktirir. Ancak kronik yüklenme (4-6 hafta) gerektirir ve 1-4 dakika süren yüksek yoğunluklu egzersizlerde küçük fakat olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kreatinin (2-5 g/gün idame dozu) faydaları, ATP-PCr sisteminin baskın olduğu 5-15 saniyelik sprint performanslarında yoğunlaşmıştır. Yorgunluğa ulaşma süresini uzatır ve maksimal gücü artırır. Kafein ve nitrat, bisiklet performansı açısından daha tutarlı olumlu sonuçlar gösteren ergojenik destekler arasında öne çıkmaktadır. Kombine ergojenik desteklerin tekli kullanımlara göre üstünlüğü konusunda kesin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bu nedenle takviye seçimi egzersizin süresi ve yoğunluğu ile bireysel özelliklere göre yapılmalı ve takviyeler sağlıklı beslenmenin yerine geçmemelidir.

Anahtar kelimeler: Kafein, kreatin, sodyum bikarbonat, β -alanin, nitrat, bisiklet ergometresi

THE EFFECT OF COMBINED ERGOGENIC AID ON MUSCLE ACTIVATION PATTERNS AND DYNAMIC MUSCLE STRENGTH DURING A BIKE ERGOMETER TEST IN SEDENTARY AND RECREATIVELY ACTIVE YOUTH ABSTRACT

In the evaluation of cycling performance, it has been reported that lower extremity muscles, in particular, exhibit distinct activation during different pedal phases; muscle activation and neuromuscular coordination may change with increasing workload. The five ergogenic supplements examined have shown varying effects on bicycle ergometer performance in sedentary and recreationally active individuals. Caffeine (3–6 mg/kg) provided the most consistent benefits throughout exercise sessions, resulting in a 1.7–4.6% improvement in time-

to-completion and a 2.53% increase in maximum power. Nitrate supplementation (300–600 mg 2–3 hours before exercise) has effectively enhanced endurance performance in regularly active individuals by improving exercise economy, reducing oxygen consumption, and prolonging the time to exhaustion. Sodium bicarbonate (0.3 g/kg) improved performance by 1.6–12% and increased total work by 10.8–17.11%. β -alanine (3.2–6.4 g/day, 2–10 weeks) delays acidosis through intramuscular pH buffering. However, it requires chronic loading (4–6 weeks) and has been shown to have a small but positive effect during high-intensity exercises lasting 1–4 minutes. Creatine (2–5 g/day maintenance dose) offers benefits primarily in 5–15-second sprint performances, where the ATP-PCr system dominates. It prolongs the time to exhaustion and increases maximal power. Caffeine and nitrates stand out among ergogenic aids that show more consistent positive results for cycling performance. There is no definitive consensus on the superiority of combined ergogenic aids over single-ingredient supplements. Therefore, the choice of supplements should be based on the duration and intensity of exercise as well as individual characteristics, and supplements should not be used as a substitute for a healthy diet. **Keywords:** Caffeine, creatine, sodium bicarbonate, β -alanine, nitrate, bicycle ergometer

1. GİRİŞ

Dünya genelinde fiziksel aktivite düzeyinin yetersiz olduğunu belirten 197 ülke ve bölgeden yaklaşık 5,7 milyon katılımcının verileri kullanılarak gerçekleştirilen küresel analizde, 2022 yılında yetişkinlerin yaklaşık %31,3'ünün önerilen düzeyde fiziksel aktivite gerçekleştirmediği ve bu oranın 2000 yılında bildirilen %23,4'lük değerden yükseldiği gösterilmiştir (Strain ve ark., 2024). Yetersiz fiziksel aktivite, haftada 150 dakika orta şiddette veya 75 dakika yüksek şiddette fiziksel aktivite yapılmaması ya da bunların eşdeğer bir bileşiminin karşılanmaması üzerinden değerlendirilmektedir (Strain ve ark., 2024).

Bisiklet ergometresi, kontrollü çalışma koşulları sağlaması ve kalp atım hızı ile solunum gazları gibi fizyolojik değişkenlerin ölçülmesine olanak vermesi nedeniyle egzersiz fizyolojisi araştırmalarında yaygın kullanılan bir değerlendirme aracıdır (Hug ve Dorel, 2009). Bisiklet ergometresi üzerinde uygulanan farklı test protokolleri, anaerobik güç ve kapasitenin, maksimum oksijen tüketiminin, yorgunluğun ve pedal çevirme sırasında ortaya çıkan kas aktivasyon örüntülerinin incelenmesine olanak sağlamaktadır (Castañeda-Babarro, 2021; Hebisz ve ark., 2021; Hug ve Dorel, 2009).

Bu kapsamda bisiklet performansının yalnızca ortaya çıkan mekanik güç üzerinden değil, gücün hangi kas grupları tarafından, hangi zamanlamayla ve hangi nöromusküler stratejiler aracılığıyla üretildiği üzerinden de değerlendirilmesi gerekmektedir (Hug ve Dorel, 2009; Ahmadi ve ark., 2026).

Takviye stratejileri cinsiyet, yaş, antrenman durumu ve çevresel koşullar gibi sporcunun özelliklerine göre uyarlanmalıdır. VO_2 max, laktat eşiği, ter sodyum konsantrasyonu ve mikro besin durumu gibi fizyolojik testler, takviye seçimi ve zamanlamasına yardımcı olarak aerobik kapasite, tamponlama, metabolik verimlilik, hidrasyon ve mikro besin yeterliliği hakkında bilgi sağlayabilir (Rowland ve ark., 2026). Bisiklet performansı bağlamında kafein, kreatin, sodyum bikarbonat, beta-alanin ve nitrat en fazla araştırılan destekler arasında yer almakta, ancak bu maddelerin etkileri egzersizin süresi, şiddeti, bireyin antrenman durumu ve kullanılan takviye protokolüne göre değişebilmektedir.

Bu literatür özetinin amacı, sedanter ve rekreatif aktif genç bireyler bağlamında bisiklet ergometresinin kullanımını, performans ölçüm yöntemlerini, kas aktivasyon paternlerini,

elektromiyografik değerlendirmeyi, dinamik kas gücünü ve başlıca ergojenik desteklerin tekli veya kombine kullanımına ilişkin bulguları bütüncül biçimde değerlendirmektedir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Sedanter ve rekreatif aktif bireylerin özellikleri

Fiziksel aktivite düzeyinin sınıflandırılmasında metabolik eşdeğer (MET) kavramı kullanılmakta ve istirahat halinde 1 MET, yaklaşık 3,5 ml/kg/dk oksijen tüketimine karşılık gelmektedir (Hazır ve ark., 2017; Makaraci ve ark., 2020).

Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi temelli sınıflandırmada haftalık fiziksel aktivitesi 600 MET-dk'nın altında olan bireyler fiziksel olarak inaktif veya sedanter, 600–3000 MET-dk arasında olanlar düşük fiziksel aktivite düzeyine sahip veya rekreatif, 3000 MET-dk'nın üzerinde olanlar ise yeterli fiziksel aktivite düzeyine sahip olarak değerlendirilmektedir (Makaraci ve ark., 2020).

Jurasz ve ark. (2022) tarafından dayanıklılık eğitimi alanlar, kuvvet antrenmanı yapan atletler ve rekreatif aktif bireylerin karşılaştırıldığı çalışmada, nöromusküler özelliklerin bireyin antrenman geçmişiyle ilişkili olduğu ve artan iş yükleri sırasında grupların yorgunluk yanıtlarının farklılaştığı gösterilmiştir (Jurasz ve ark., 2022).

2.2. Bisiklet ergometresi ve performans testleri

Bisiklet ergometresi, test koşullarının kontrollü biçimde ayarlanabilmesi ve fizyolojik yanıtların eş zamanlı olarak izlenebilmesi nedeniyle laboratuvar temelli egzersiz çalışmalarında önemli bir araçtır (Hug ve Dorel, 2009).

Bisiklet egzersizinin şiddeti çoğunlukla maksimum kalp atım hızının %60–80'i arasında orta, %80'in üzerinde ise yüksek şiddetli olarak planlanmaktadır (MacInnis ve Gibala, 2017). Çalışmalarda uygulanan protokollerin genellikle günde 30–60 dakika, haftada 3–5 kez ve 6–16 hafta sürdüğü; bu tür programların aerobik kapasite ve alt ekstremité kas kuvvetini geliştirebildiği bildirilmiştir (Tecer ve Kurt, 2020). Ayrıca, düzenli fiziksel aktivitenin oksijen kullanım kapasitesiyle ilişkili olduğu ve bisiklet ergometresi ile koşu bandında egzersiz yapan sporcuların sedanter bireylere göre daha yüksek VO_{2max} değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir (Srivastava ve ark., 2024).

2.2.1. Wingate anaerobik güç testi

Anaerobik performansın değerlendirilmesinde kullanılan Wingate Anaerobik Testi, supramaksimal egzersize verilen yanıtların yanı sıra anaerobik güç ve kapasitenin belirlenmesini sağlar (Castañeda-Babarro, 2021). Yorgunluk indeksinin ATP-PCr sistemi ve glikolitik metabolizma yoluyla enerji üretme kapasitesiyle ilişkili olması, Wingate testinin kısa süreli yüksek yoğunluklu egzersizde enerji sistemlerinin performansa katkısını değerlendirmedeki önemini desteklemektedir (Castañeda-Babarro, 2021).

Artırımlı yük testlerinde ise dış yük belirli aralıklarla artırılarak bireyin yorgunluğa ulaşmasına kadar devam ettirilmekte ve bu sayede maksimum oksijen tüketimi ile artan egzersiz yüküne verilen fizyolojik yanıtlar değerlendirilmektedir (Hebisz ve ark., 2021).

2.3. Kas aktivasyon paterni ve elektromiyografi

Bisiklet pedallaması sırasında alt ekstremité kasları krank döngüsünün farklı evrelerinde farklı düzeylerde aktive olmaktadır. Gluteus maximus güç üretiminde, vastus lateralis ve vastus medialis ise kuvvetin pedala aktarılmasında önemli rol oynarken; rectus femoris kalça fleksiyonu ve diz ekstansiyonuna, gastrocnemius kasları ise ayak bileği plantar fleksiyonuna ve enerji aktarımına katkı sağlamaktadır. Biceps femoris ve semimembranosus özellikle geri çekme fazında aktive olarak pedal döngüsünde farklı kas gruplarının birlikte görev yaptığını göstermektedir (Hug ve Dorel, 2009). Maksimum eforda bisiklet sürerken mekanik gücün

yaklaşık %40'ı kalçadan, %40'ı dizden, %15'i ayak bileğinden ve %5'i gövde ile üst ekstremitelerden sağlanmaktadır (Elmer ve ark., 2011).

Elektromiyografi (EMG), kas kasılması sırasında oluşan elektriksel aktivitenin non-invaziv olarak değerlendirilmesini sağlayan bir yöntemdir (Hug ve Dorel, 2009). Pedal çevirme sırasında kas aktivitesinin değerlendirilmesinde RMS ve EMGi gibi ölçütler kullanılmakta; pedal direncinin artmasıyla EMG amplitüdünün yükselmesi, artan mekanik iş yükünün daha fazla nöromüsküler aktivasyon gerektirdiğini göstermektedir (Hug ve Dorel, 2009; Jurasz ve ark., 2022).

EMG normalizasyonunun standardize edilmesi, farklı çalışmalar arasında kas aktivasyon örüntülerinin ve aynı denekteki farklı kasların aktivitelerinin karşılaştırılması açısından önem taşımaktadır (Hug ve Dorel, 2009).

2.4. Kas sinerjileri ve dinamik kas gücü

Kas aktivasyon paternlerinin yalnızca tek tek kaslar üzerinden değil, birlikte çalışan kas gruplarının oluşturduğu sinerjiler üzerinden değerlendirilmesi bisiklet araştırmalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır (Ahmadi ve ark., 2026).

Ahmadi ve ark. (2026), 20 rekreatif bisikletçide krank döngüsünü dört faza ayırarak EMG temelli kas sinerjilerini incelemiş ve güç düzeyi arttıkça diz eklemindeki sinerji indeksinin azaldığını, kasların katkı ağırlıkları ile aktivasyon zamanlamalarının değiştiğini göstermiştir. Bu bulgular, merkezi sinir sisteminin yüksek yoğunluklu bisiklet egzersizinde etkili güç aktarımı ve eklem kontrolünü sağlamak belirli kas sinerjilerinin devreye alınmasını seçici bir şekilde ayarladığını göstermektedir (Ahmadi ve ark., 2026).

Kas gücü, dış bir nesneye veya dirence kuvvet uygulama yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Suchomel ve ark., 2016). Düzenli direnç ve egzersiz programlarının paralel olarak kas kütlesindeki artış kas gücünü artırmaktadır (Hall ve Hall, 2020).

Dinamik Kuvvet İndeksi, nöromüsküler kapasiteyi ve dinamik hareketlerde patlayıcı kuvvet üretme yeteneğini değerlendirmede kullanılan ve direnç antrenmanında hızlı kararlar alınmasını sağlamak için yaygın olarak kullanılan bir sezgisel yöntemdir (Haj Lotfalian ve Abbasi, 2025; Ripley ve ark., 2025).

Bisiklet performansında kadans (dakikadaki pedal devri) da nöromüsküler açıdan önemli bir değişkendir. Tercih edilen kadansın bisiklet geçmişiyle ilişkili olması, kadansın yalnızca mekanik bir değişken olmadığını göstermektedir. Kadans arttıkça teğetsel pedal kuvvetinin azalması ile sonuçlanır (Hansen ve ark., 2021).

2.5. Ergojenik destekler

Ergojenik desteklerin kullanımında enerji sistemi biyokimyası, fizyolojik düzenleme, bireysel ihtiyaçlar ve egzersizin özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Avustralya Spor Enstitüsü sınıflandırmasında A grubu destekler, güçlü bilimsel kanıta sahip ve sporcularda güvenli kullanımı desteklenen maddeleri kapsamaktadır. Takviye stratejilerinin yaş, cinsiyet, antrenman durumu, sıcaklık ve rakım gibi bireysel ve çevresel özelliklere göre uyarlanması ve VO₂max, laktat eşiği, ter sodyum ve mikrobesein durumu gibi fizyolojik değerlendirmelerden yararlanılması önerilmektedir (Rowland ve ark., 2026).

2.5.1. Kafein

Kafein, uyanıklığı artırması, algılanan eforu azaltması ve dayanıklılık kapasitesini desteklemesi nedeniyle en çok araştırılan ergojenik desteklerden biridir (Guest ve ark., 2021). Bisiklet performansında genellikle 3–6 mg/kg dozunda ve egzersizden yaklaşık 60 dakika önce

kullanılması önerilmektedir (Valino-Marques ve ark., 2024). Kafein, merkezi sinir sisteminde adenozin A1 ve A2A reseptörlerini antagonize ederek yorgunluk ve uykululuk hissini azaltmakta, ayrıca uyarılma-kasılma süreçlerini etkileyerek kas kasılmasının sürdürülmesine katkı sağlayabilmektedir (Guest ve ark., 2021; Rowland ve ark., 2026).

Valino-Marques ve ark. (2024) tarafından yapılan sistematik derlemede, kafeinin bisiklet performansını olumlu etkilediği; zaman denemelerinde tamamlanma süresini %1,7–4,6 oranında azalttığı, sprintlerde ise ortalama ve maksimum gücü yaklaşık %2,53 artırdığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, kafeine verilen yanıt bireysel metabolizma ve CYP1A2 genetik farklılıklarından etkilenebilmektedir. AA genotipine sahip, hızlı metabolize edenlerde kafein tüketiminin olumsuz kardiyometabolik risklerle belirgin bir ilişkisi gösterilmezken, AC/CC genotipine sahip yavaş metabolize edenlerde yüksek kafein tüketimi miyokard enfarktüsü, hipertansiyon ve yüksek tansiyon ile prediyabet gibi bazı risklerle ilişkilendirilmiştir. Yüksek dozlar gastrointestinal rahatsızlık, titreme ve kalp atım hızında artış gibi yan etkilere yol açabileceğinden orta dozların tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca yaklaşık 4–6 saatlik yarı ömrü nedeniyle özellikle geç saatlerde kullanımı uyku kalitesini olumsuz etkileyebilir (Guest ve ark., 2021).

2.5.2. Kreatin

Kreatin, özellikle kısa süreli ve yüksek yoğunluklu egzersizlerde fosfokreatin sistemini destekleyerek ATP'nin hızlı yeniden sentezlenmesine katkı sağlayan önemli bir ergojenik destektir (Forbes ve ark., 2023; Wu ve ark., 2022). Kas içinde fosfokreatin olarak depolanarak yüksek yoğunluklu efor sırasında ATP üretiminin sürdürülmesini sağlar (Wu ve ark., 2022). Özellikle tekrarlı sprintlerde maksimal güç, anaerobik kapasite ve toplam iş performansında yaklaşık %5–15 oranında gelişme sağlayabildiği, ancak tek sprint performansındaki etkisinin ise %1-5 arasında sınırlı olduğu bildirilmektedir (Wax ve ark., 2021).

Kreatin depolarını hızlı artırmak amacıyla 5–7 gün yaklaşık 20 g/gün yükleme, ardından 2–5 g/gün idame protokolü uygulanabilmekte ve kas kreatin/fosfokreatin içeriğinde yaklaşık %20–40 artış sağlayabilmektedir (Pashayee-Khamene ve ark., 2024; Wax ve ark., 2021). Bununla birlikte, yükleme döneminde gastrointestinal rahatsızlık görülebilir ve yeni kanıtlar, egzersiz sonrası alımı desteklese de kullanım zamanlaması konusunda kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır (Wax ve ark., 2021; Ribeiro ve ark., 2021). Kreatinin yararı özellikle sprint, hızlanma ve yüksek güç gerektiren egzersizlerde belirginleşirken, uzun süreli ve sabit tempolu orta şiddette dayanıklılık egzersizlerinde belirgin bir avantaj sağlaması beklenmemektedir (Forbes ve ark., 2023). Bisiklet çalışmalarındaki sonuçların protokol ve bireysel özelliklere göre değişmesi de kreatine verilen yanıtın kişiden kişiye farklılaşabileceğini göstermektedir (Gordon ve ark., 2023; Valino-Marques ve ark., 2024; Schafer ve ark., 2019).

2.5.3. Sodyum bikarbonat

Sodyum bikarbonat, yüksek yoğunluklu egzersizde hücre dışı tamponlama kapasitesini artırarak hidrojen iyonu birikimine bağlı asidozu geciktiren A grubu bir ergojenik destektir (Grgic ve ark., 2021). Anaerobik glikolizin artmasıyla biriken hidrojen iyonları kas pH'sını düşürerek kasılabilirlik, enerji üretimi ve enzim aktivitesini olumsuz etkiler. Bu noktada bikarbonat, hidrojen iyonlarının çalışan kastan uzaklaştırılmasını kolaylaştırarak performansın sürdürülmesine katkı sağlayabilmektedir (Cairns ve Lindinger, 2025; Rowland ve ark., 2026). Bisiklet performansında yaklaşık 0,3 g/kg dozunun egzersizden 90–120 dakika önce uygulanması önerilmekte ve çalışmalarda sodyum bikarbonat takviyesinin performansta yaklaşık %1,6–12 oranında iyileşmeler sağladığı bildirilmiştir (Valino-Marques ve ark., 2024;

Ferreira ve ark., 2019; Gough ve ark., 2022; Hilton ve ark., 2020). Ancak yüksek dozlarda şişkinlik, bulantı ve ishal gibi gastrointestinal yan etkilere sebep olabilir (Zhou ve ark., 2022).

2.5.4. Beta-alanin

Beta-alanin, kas içindeki karnozin sentezini artırarak hücre içi asit tamponlama kapasitesini yükselten bir amino asittir (Ashtary-Larky ve ark., 2025). Sodyum bikarbonattan farklı olarak hücre içi tamponlama mekanizmasını temel alır (Valino-Marques ve ark., 2024). Genellikle 3,2–6,4 g/gün dozunda, 2–10 hafta boyunca kronik olarak kullanılması kas karnozin düzeylerini artırabilmektedir (Ashtary-Larky ve ark., 2025).

Beta-alaninin performans üzerindeki etkisi özellikle 1–4 dakika süren yüksek yoğunluklu egzersizlerde daha belirgin görünmektedir. Bununla birlikte bisiklet çalışmalarında sonuçlar kesin değildir; bazı çalışmalarda anlamlı performans artışı bulunmazken, 19 çalışma ve 398 katılımcıyı içeren meta-analizde küçük fakat olumlu bir performans etkisi bildirilmiştir (Valino-Marques ve ark., 2024; Huerta Ojeda ve ark., 2020). Kullanım sırasında görülebilen geçici parestezi, dozun gün içine bölünmesiyle azaltılabilmektedir (Rowland ve ark., 2026).

2.5.5. Nitrat

Diyet nitratı, özellikle pancar suyu şeklinde, bisiklet performansını destekleme potansiyeli nedeniyle araştırılan önemli bir ergojenik destektir. Nitrat, ağız ve midede nitrite, özellikle hipoksik ve asidik koşullarda ise nitrik okside dönüştürülmektedir. Oluşan nitrik oksit; vazodilatasyon, kas perfüzyonu ve oksijen taşınmasını destekleyerek mitokondriyal verimliliği artırabilmekte ve belirli bir submaksimal iş yükünde oksijen maliyetini azaltabilmektedir (Larsen ve ark., 2011; Poon ve ark., 2025).

Nitratın etkisinin antrenman düzeyine ve kullanım protokolüne bağlı olduğu; yararın rekreatif ve orta düzeyde antrenmanlı bisikletçilerde daha belirgin, elit sporcularda ise daha sınırlı ve değişken olduğu bildirilmektedir (Jones, 2014; Poon ve ark., 2025). Çalışmalarda genellikle 300–600 mg nitrat akut olarak egzersizden 2–3 saat önce uygulanırken, kronik kullanımda üç günden uzun süre ve günlük en az 6 mmol alımın tükenme süresi testlerinde daha belirgin sonuçlar sağlayabileceği bildirilmektedir (McMahon ve ark., 2017; Poon ve ark., 2025). Özellikle 10–40 dakika süren orta yoğunluklu egzersizlerde yorulma süresini uzatabildiği, güç çıkışını artırdığı ve oksijen tüketimini azaltabildiği gösterilmiştir (Gao ve ark., 2021). Buna karşılık, kısa süreli yüksek yoğunluklu sprintlerde etkileri daha sınırlı ve değişken olduğundan, nitratın bu tür egzersizlerdeki ergojenik etkisine ilişkin kanıtlar henüz kesin değildir (Tan ve ark., 2023; Tan ve ark., 2024).

2.6. Kombine ergojenik desteklerin kullanımı

Pratikte, ergojenik takviyeler nadiren tek başına kullanılır. Sporcular genellikle enerji kullanılabilirliği, yorgunluğa direnç, hidrasyon ve iyileşme gibi birden fazla fizyolojik ihtiyacı karşılamak için çoklu takviye rejimlerini benimserler. Performans sonuçlarını optimize etmek ve etkisiz veya çelişen stratejilerden kaçınmak için takviyeler arasındaki potansiyel sinerjileri ve fazlalıkları anlamak çok önemlidir (Rowland ve ark., 2026). Çalışmalarda kombinasyonların tekli kullanımdan her zaman daha üstün olmadığı görülmektedir (Beltrami ve ark., 2024). Kombine takviyelerin yalnızca yaklaşık %17'sinde anlamlı performans artışı bildirilmiştir (Zart ve Frohlich, 2025).

Bisiklet performansında kafein ve kreatin kombinasyonu olumlu sonuçlarıyla öne çıkarken, kafein ve sodyum bikarbonat kombinasyonunda farklı etki mekanizmalarının birlikte çalışabileceği düşünülmektedir (Valino-Marques ve ark., 2024; Grgic ve ark., 2020; Zart ve Frohlich, 2025). Buna karşılık kreatin–beta-alanin, sodyum bikarbonat–beta-alanin ve kafein–nitrat kombinasyonlarının tek başına kullanıma kıyasla tutarlı bir ek veya sinerjik performans

avantajı sağladığı gösterilememiştir (Valino-Marques ve ark., 2024; Gilsanz ve ark., 2024; Ashtary-Larky ve ark., 2025). Özellikle kafein içeren kombinasyonlarda küçük olumlu eğilimler görülmesine rağmen, bunların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bildirilmiştir (Zart ve Frohlich, 2025).

Genel olarak ergojenik desteklerin etkisi; enerji üretim sistemi, egzersizin yoğunluğu ve süresi, bireysel özellikler ve uygulanan takviye protokolünün etkileşimine bağlıdır. Bu nedenle fosfojen sistem, glikoliz ve oksidatif metabolizmanın yanı sıra enerji alımı, hidrasyon, antrenman ve toparlanma birlikte değerlendirilmelidir. Ergojenik destekler, dengeli beslenme, uygun antrenman ve yeterli dinlenmenin yerine geçen değil, bunları tamamlayan bireyselleştirilmiş stratejiler olarak ele alınmalıdır (Kerksick ve ark., 2018; Rowland ve ark., 2026; Ashtary-Larky ve ark., 2025).

3. SONUÇ

Bisiklet ergometresi, kontrollü yükleme ve eş zamanlı fizyolojik ölçüm olanağı sayesinde aerobik ve anaerobik performans, kas gücü, yorgunluk ve nöromusküler yanıtların birlikte değerlendirilmesine uygun bir araştırma aracıdır. Wingate testi kısa süreli yüksek yoğunluklu egzersizde güç ve yorgunluk göstergelerini, artırımlı yük testleri ise özellikle $VO_2\text{max}$ ve artan iş yüküne verilen fizyolojik yanıtları değerlendirmede kullanılmaktadır (Castañeda-Babarro, 2021; Hebisz ve ark., 2021).

Pedal çevirme sırasında farklı kas gruplarının döngünün farklı evrelerinde koordineli biçimde aktive olması, bisiklet performansının karmaşık bir nöromusküler süreç olduğunu göstermektedir. EMG ile RMS ve EMGi gibi ölçütlerin değerlendirilmesi ve uygun normalizasyon yöntemlerinin kullanılması, farklı yüklerde ve bireylerde kas aktivasyonunun karşılaştırılmasını sağlarken; kas sinerjisi çalışmaları merkezi sinir sisteminin yüksek yoğunluklu egzersizde kaslar arasındaki katkıyı ve aktivasyon zamanlamasını düzenlediğini ortaya koymaktadır (Hug ve Dorel, 2009; Ahmadi ve ark., 2026).

Ergojenik destekler arasında kafein, sodyum bikarbonat ve nitrat bisiklet performansı açısından daha tutarlı kanıtlara sahipken, kreatin özellikle sprint, hızlanma ve tekrarlı yüksek yoğunluklu egzersizlerde; beta-alanin ise özellikle 1–4 dakika süren yüksek yoğunluklu egzersizlerde potansiyel fayda göstermektedir (Valino-Marques ve ark., 2024; Forbes ve ark., 2023; Huerta Ojeda ve ark., 2020). Kafein genel olarak performansı desteklese de bireysel metabolizma ve kullanım zamanı yanıtı etkileyebilir. Nitratin etkileri ise özellikle rekreatif ve orta düzeyde antrenmanlı bireylerde daha belirgin olup sprint performansındaki sonuçlar daha değişkendir. Kombine takviyelerin etkileri ise kullanılan maddelerin mekanizmalarına ve egzersizin özelliklerine bağlıdır. Kafein-kreatin kombinasyonu olumlu sonuçlarıyla öne çıkarken, bazı kombinasyonların tekli kullanıma ek bir avantaj sağlamadığı görülmektedir. Bu nedenle birden fazla ergojenik desteğin birlikte kullanılması otomatik olarak daha yüksek performans anlamına gelmemektedir (Valino-Marques ve ark., 2024; Gilsanz ve ark., 2024).

Sonuç olarak, bisiklet ergometresi çalışmalarında performans ölçümlerinin EMG, kas sinerjileri ve dinamik güç değerlendirmeleriyle birlikte ele alınması, ergojenik desteklerin performansı hangi nöromusküler mekanizmalar üzerinden etkilediğinin daha kapsamlı biçimde ortaya konulmasını sağlayabilir. Gelecekte farklı özelliklere sahip daha geniş örneklemelerle yapılacak çalışmalar, özellikle kombine takviyelerin ve nöromusküler yanıtların daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Ergojenik destekler ise olası yan etkiler, bireysel tolerans ve doz dikkate alınarak kanıta dayalı, bireyselleştirilmiş ve etik bir yaklaşım çerçevesinde değerlendirilmelidir.

4. KAYNAKÇA

- Ahmadi, R., Rasoulia, S., Heidary, H., Aboodarda, S. J., Uchida, T. K., Herzog, W., & Komeili, A. (2026, February 28). Quantifying lower-limb muscle coordination during cycling using electromyography-informed muscle synergies. *Annals of Biomedical Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10439-026-04030-y>
- Ashtary-Larky, D., Candow, D. G., Forbes, S. C., Hajizadeh, L., Antonio, J., & Suzuki, K. (2025). Effects of creatine and beta-alanine co-supplementation on exercise performance and body composition: A systematic review. *Nutrients*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/nu17132074>
- Beltrami, F. G., Hanselmann, L., & Spengler, C. M. (2024). Effects of combined interventions to optimize performance during high-intensity exercise in trained individuals. *European Journal of Sport Science*, 24(1), 45–55. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12053>
- Cairns, S. P., & Lindinger, M. I. (2025). Lactic acidosis: Implications for human exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 125(7), 1761–1795. <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05750-0>
- Castañeda-Babarro, A. (2021). The Wingate anaerobic test, a narrative review of the protocol variables that affect the results obtained. *Applied Sciences*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/app11167417>
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjostrom, 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>
- Elmer, S. J., Barratt, P. R., Korff, T., & Martin, J. C. (2011). Joint-specific power production during submaximal and maximal cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1940–1947. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821b00c5>
- Ferreira, L. H. B., Smolarek, A. C., Chilibeck, P. D., Barros, M. P., McAnulty, S. R., Schoenfeld, B. J., Zandona, B. A., & Souza-Junior, T. P. (2019). High doses of sodium bicarbonate increase lactate levels and delay exhaustion in a cycling performance test. *Nutrition*, 60, 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.09.018>
- Forbes, S. C., Candow, D. G., Neto, J. H. F., Kennedy, M. D., Forbes, J. L., Machado, M., Bustillo, E., Gomez-Lopez, J., Zapata, A., & Antonio, J. (2023). Creatine supplementation and endurance performance: Surges and sprints to win the race. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 20(1), 2204071. <https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2204071>
- Franz, L., de Filippis, C., Daloiso, A., Biancoli, E., Iannacone, F. P., Cazzador, D., Tealdo, G., Marioni, G., Nicolai, P., & Zanoletti, E. (2024). Facial surface electromyography: A systematic review on the state of the art and current perspectives. *American Journal of Otolaryngology*, 45(1), 104041. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2023.104041>
- Gao, C., Gupta, S., Adli, T., Hou, W., Coolsaet, R., Hayes, A., Kim, K., Pandey, A., Gordon, J., Chahil, G., Belley-Cote, E. P., & Whitlock, R. P. (2021). The effects of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance and cardiorespiratory measures in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00450-4>
- Gilsanz, L., Del Coso, J., Jimenez-Saiz, S. L., & Pareja-Galeano, H. (2024). Effect of caffeine and nitrates combination on exercise performance, heart rate and oxygen uptake: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/nu16193352>
- Gough, L. A., Williams, J. J., Newbury, J. W., & Gurton, W. H. (2022, Dec). The effects of sodium bicarbonate supplementation at individual time-to-peak blood bicarbonate on 4-km

- cycling time trial performance in the heat. *Eur J Sport Sci*, 22(12), 1856-1864. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1998644>
- Grgic, J., Garofolini, A., Pickering, C., Duncan, M. J., Tinsley, G. M., & Del Coso, J. (2020). Isolated effects of caffeine and sodium bicarbonate ingestion on performance in the Yo-Yo test: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(1), 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.016>
- Grgic, J., Pedisic, Z., Saunders, B., Artioli, G. G., Schoenfeld, B. J., McKenna, M. J., Bishop, D. J., Kreider, R. B., Stout, J. R., Kalman, D. S., Arent, S. M., VanDusseldorp, T. A., Lopez, H. L., Ziegenfuss, T. N., Burke, L. M., Antonio, J., & Campbell, B. I. (2021). International Society of Sports Nutrition position stand: Sodium bicarbonate and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00458-w>
- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: Caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Haj Lotfalian, M., & Abbasi, A. (2025). Prediction of dynamic strength index (DSI) using one low-cost 2D video camera: A machine learning approach. *Scientific Reports*, 15(1), 39127. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26654-1>
- Hall, J. E., & Hall, M. E. (2020). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.
- Hansen, E. A., Noddellund, E., Nielsen, F. S., Sorensen, M. P., Nielsen, M. O., Johansen, M., Andersen, M. H., & Nielsen, M. D. (2021). Freely chosen cadence during ergometer cycling is dependent on pedalling history. *European Journal of Applied Physiology*, 121(11), 3041–3049. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04770-w>
- Hazır, T., Kin İşler, A., Köse, M. G., Atabey, C. I. B., & Esatbeyoğlu, F. (2017). Validity of Senserwear Pro3 Armband to estimate MET system and resting metabolic rate. *Hacettepe Journal of Sport Sciences*, 28(3), 7.
- Hebisz, P., Jastrzebska, A. D., & Hebisz, R. (2021). Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test. *Frontiers in Physiology*, 12, 739745. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.739745>
- Hilton, N. P., Leach, N. K., Hilton, M. M., Sparks, S. A., & McNaughton, L. R. (2020). Enteric-coated sodium bicarbonate supplementation improves high-intensity cycling performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 120(7), 1563–1573. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04387-5>
- Huerta Ojeda, A., Tapia Cerda, C., Poblete Salvatierra, M. F., Barahona-Fuentes, G., & Jorquera Aguilera, C. (2020). Effects of beta-alanine supplementation on physical performance in aerobic-anaerobic transition zones: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/nu12092490>
- Hug, F., & Dorel, S. (2009). Electromyographic analysis of pedaling: A review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2), 182–198. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.10.010>
- Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Medicine*, 44(Suppl 1), S35–S45. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0149-y>

- Jurasz, M., Boraczynski, M., Wojcik, Z., & Gronek, P. (2022). Neuromuscular fatigue responses of endurance- and strength-trained athletes during incremental cycling exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14). <https://doi.org/10.3390/ijerph19148839>
- Kerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jager, R., Collins, R., Cooke, M., Davis, J. N., Galvan, E., Greenwood, M., Lowery, L. M., Wildman, R., Antonio, J., & Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
- Larsen, F. J., Schiffer, T. A., Borniquel, S., Sahlin, K., Ekblom, B., Lundberg, J. O., & Weitzberg, E. (2011). Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metabolism*, 13(2), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2011.01.004>
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *Journal of Physiology*, 595(9), 2915–2930. <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- Makaraci, Y., Güler, M., Kozak, M., Pamuk, Ö., & Soslu, R. (2020). Fiziksel aktivite ve bazal metabolik hız değerleri spor bilimleri özel yetenek sınavı parkur süresinde ne kadar etkilidir? *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 282–292. <https://doi.org/10.25307/jssr.830922>
- McMahon, N. F., Leveritt, M. D., & Pavey, T. G. (2017). The effect of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(4), 735–756. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0617-7>
- Messenburger, G. P., Nunez, F. F., Porepp, O., Collares, L. D. N., Delpino, F. M., de Barros, C. C., & Pieniz, S. (2025). Influence of the CYP1A2 genotype on the exercise performance of physically active individuals under caffeine supplementation: A systematic review. *Nutrition Research*, 144, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2025.10.005>
- Miller, P., Robinson, A. L., Sparks, S. A., Bridge, C. A., Bentley, D. J., & McNaughton, L. R. (2016). The effects of novel ingestion of sodium bicarbonate on repeated sprint ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 561–568. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001126>
- Pashayee-Khamene, F., Heidari, Z., Asbaghi, O., Ashtary-Larky, D., Goudarzi, K., Forbes, S. C., Candow, D. G., Bagheri, R., Ghanavati, M., & Dutheil, F. (2024). Creatine supplementation protocols with or without training interventions on body composition: A GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 21(1), 2380058. <https://doi.org/10.1080/15502783.2024.2380058>
- Poon, E. T., Iu, J. C., Sum, W. M., Wong, P. S., Lo, K. K., Ali, A., Burns, S. F., & Trexler, E. T. (2025). Dietary nitrate supplementation and exercise performance: An umbrella review of 20 published systematic reviews with meta-analyses. *Sports Medicine*, 55(5), 1213–1231. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02194-6>
- Ribeiro, F., Longobardi, I., Perim, P., Duarte, B., Ferreira, P., Gualano, B., Roschel, H., & Saunders, B. (2021). Timing of creatine supplementation around exercise: A real concern? *Nutrients*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/nu13082844>
- Ripley, N. J., Fahey, J., Guppy, S., & Comfort, P. (2025). Comparisons between different methods of calculating dynamic strength index: Effect on training recommendations. *PLoS ONE*, 20(9), e0331519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331519>

- Rouffet, D. M., & Hautier, C. A. (2008). EMG normalization to study muscle activation in cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(5), 866–878. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.03.008>
- Rowland, A., Edwards, S., Prieto-Bellver, G., Menz, B., Rowland, A., Cornelisse, E., Karapetis, C. S., Wallen, M. P., & Hopkins, A. M. (2026). A comprehensive review of the physiology and evidence base to guide the use of ergogenic and medical supplements for enhanced cycling performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 23(1), 2630487. <https://doi.org/10.1080/15502783.2026.2630487>
- Schafer, L. U., Hayes, M., & Dekerle, J. (2019). Creatine supplementation improves performance above critical power but does not influence the magnitude of neuromuscular fatigue at task failure. *Experimental Physiology*, 104(12), 1881–1891. <https://doi.org/10.1113/EP087886>
- Srivastava, S., Tamrakar, S., Nallathambi, N., Vrindavanam, S. A., Prasad, R., & Kothari, R. (2024). Assessment of maximal oxygen uptake (VO₂ max) in athletes and nonathletes assessed in sports physiology laboratory. *Cureus*, 16(5), e61124. <https://doi.org/10.7759/cureus.61124>
- Strain, T., Flaxman, S., Guthold, R., Semenova, E., Cowan, M., Riley, L. M., Bull, F. C., Stevens, G. A., & Country Data Author, G. (2024). National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: A pooled analysis of 507 population-based surveys with 5.7 million participants. *The Lancet Global Health*, 12(8), e1232–e1243. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00150-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00150-5)
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Tan, R., Baranaskas, M. N., Karl, S. T., Ortiz de Zavallos, J., Shei, R. J., Paris, H. L., Wiggins, C. C., & Bailey, S. J. (2023). Effects of dietary nitrate supplementation on peak power output: Influence of supplementation strategy and population. *Nitric Oxide*, 138–139, 105–119. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2023.06.004>
- Tan, R., Cass, J. K., Lincoln, I. G., Wideen, L. E., Nicholl, M. J., Molnar, T. J., Gough, L. A., Bailey, S. J., & Pennell, A. (2024). Effects of dietary nitrate supplementation on high-intensity cycling sprint performance in recreationally active adults: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/nu16162764>
- Tecer, B. H., & Kurt, Y. (2020). Comparison of the effects of spinning and moderate intensity cycle ergometer trainings on isokinetic knee muscle strength and endurance in sedentary females. *Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*, 7(3), 9. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jetr/article/563089>
- Thomas, C. (2022). Positive effects of pre-exercise metabolic alkalosis on perceived exertion and post-exercise squat jump performance in world-class cyclists. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003855>
- Valino-Marques, A., Lamas, A., Miranda, J. M., Cepeda, A., & Regal, P. (2024). Nutritional ergogenic aids in cycling: A systematic review. *Nutrients*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/nu16111768>
- Wax, B., Kerkick, C. M., Jagim, A. R., Mayo, J. J., Lyons, B. C., & Kreider, R. B. (2021). Creatine for exercise and sports performance, with recovery considerations for healthy populations. *Nutrients*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/nu13061915>

- Wu, S. H., Chen, K. L., Hsu, C., Chen, H. C., Chen, J. Y., Yu, S. Y., & Shiu, Y. J. (2022). Creatine supplementation for muscle growth: A scoping review of randomized clinical trials from 2012 to 2021. *Nutrients*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/nu14061255>
- Zart, S., & Frohlich, M. (2025). Ergogenic effects of supplement combinations on endurance performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 22(1), 2524033. <https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2524033>
- Zhou, N., Fan, Y., Wang, X., Wang, J., & Wu, H. (2022). Acute enteric-coated sodium bicarbonate has negligible effect on anaerobic performance but affects metabolomics and attenuates the gastrointestinal response. *Frontiers in Physiology*, 13, 996381. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.996381>

HEMŞİRELİKTE ELEŞTİREL DÜŞÜNME

Ashhan HACISALİHOĞLU

Çukurova University, Faculty of Health Science, Department of Child Health and Disease
Nursing, Balcalı, Adana

ORCID ID: 0000-0003-3589-0173

ÖZET

Eleştirel düşünme, bireyin bilgi ve kanıtları sistematik biçimde analiz ederek mantıklı çıkarımlar yapmasını, alternatif bakış açılarını değerlendirmesini ve kanıta dayalı kararlar vermesini sağlayan üst düzey bilişsel bir süreçtir. Günümüzde sağlık hizmetlerinin giderek karmaşıklaşması, teknolojik gelişmeler ve hasta bakımının çok boyutlu yapısı, hemşirelerin yalnızca mesleki bilgiye değil aynı zamanda güçlü eleştirel düşünme becerilerine de sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu derleme, eleştirel düşünme kavramını kuramsal temelleri, bilişsel ve duyuşsal boyutları, ilişkili kavramları ve gelişimsel süreci çerçevesinde incelemek; hemşirelik uygulamaları ve eğitimindeki önemini güncel literatür doğrultusunda değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Makalede eleştirel düşünmenin tanımları, temel özellikleri, Facione'nin Delphi Raporu'nda tanımlanan bilişsel becerileri, eleştirel düşünme eğilimleri, sorgulama, akıl yürütme, argümantasyon ve üstbilis ile ilişkisi ele alınmıştır. Ayrıca eleştirel düşünmenin çocukluk döneminden başlayarak gelişimsel süreç içerisindeki değişimi, Altı Düşünme Şapkası yaklaşımı ve eleştirel düşünmeyi değerlendirmede kullanılan ölçüm araçları açıklanmıştır. Hemşirelik açısından eleştirel düşünmenin hemşirelik sürecinin tüm basamaklarında klinik karar verme, problem çözme, kanıta dayalı uygulamalar ve hasta güvenliğinin sağlanmasındaki rolü ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Sonuç olarak eleştirel düşünme; hemşirelerin klinik akıl yürütme, doğru karar verme ve kaliteli bakım sunma yeterliliklerini geliştiren temel profesyonel becerilerden biridir. Bu nedenle hemşirelik eğitiminde öğrenci merkezli, sorgulamaya dayalı öğretim stratejilerinin yaygınlaştırılması ve eleştirel düşünme becerilerinin sistematik olarak desteklenmesi, mesleki yeterliliğin ve bakım kalitesinin artırılması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eleştirel düşünme, hemşirelik, klinik karar verme, kanıta dayalı uygulama, hemşirelik eğitimi.

CRITICAL THINKING IN NURSING

ABSTRACT

Critical thinking is a higher-order cognitive process that enables individuals to systematically analyze information and evidence, make logical inferences, evaluate alternative perspectives, and reach evidence-based decisions. The increasing complexity of healthcare services, rapid technological advancements, and the multidimensional nature of patient care require nurses to possess not only professional knowledge but also strong critical thinking skills. This review was prepared to examine the concept of critical thinking within the framework of its theoretical foundations, cognitive and affective dimensions, related concepts, and developmental process, and to discuss its importance in nursing education and clinical practice based on current literature. The review addresses the definitions and characteristics of critical thinking, the cognitive skills identified in Facione's Delphi Report, critical thinking dispositions, and its relationships with inquiry, reasoning, argumentation, and metacognition. Furthermore, the developmental progression of critical thinking from childhood onward, the Six Thinking Hats

approach, and the measurement tools used to assess critical thinking are described. From a nursing perspective, the role of critical thinking throughout all stages of the nursing process—including clinical decision-making, problem-solving, evidence-based practice, and patient safety—is comprehensively discussed. In conclusion, critical thinking is one of the fundamental professional competencies that strengthens nurses' clinical reasoning, decision-making, and ability to provide high-quality care. Therefore, promoting student-centered and inquiry-based teaching strategies and systematically fostering critical thinking skills in nursing education are essential for enhancing professional competence and improving the quality of nursing care

Keywords: Critical thinking, nursing, clinical decision-making, evidence-based practice, nursing education.

1. GİRİŞ

Kısaca zihni kullanma sanatı olarak ifade edilen eleştirel düşünme kavramı, batı felsefesinin kurucularından biri olan Sokrates'in sorgulamaya dayalı öğrenme metodu (Sokratik yöntem) esas alınarak geliştirmiştir. Sokrates eleştirel düşünmeyi, felsefe aracılığı ile doğru soruları sorup bu sayede mantıklı düşünceler üreterek davranışlara rehberlik etme amacıyla kullanmıştır. Doğruluğundan emin olunan bilgi bile yeterince sorgulandığında yanlış olduğu düşünülebilir. Kritik düşünme olarak da adlandırılan eleştirel düşünme, günümüzde argümanların güçlü ve zayıf yönlerini objektif bir şekilde tanımlamak, eleştirmek, gerekçeler sunmak, makul ve nesnel bir karara varmak için yapılan öz-yönetimli aktif bir zihinsel süreç olarak tanımlanmaktadır (Durhan 2021; Yeşilyurt 2021).

Robert Ennis eleştirel düşünmeyi "ne yapılacağı veya inanılacağıyla ilgili makul yansıtıcı düşünme" olarak tanımlar (Ennis 2018). Scriven ve Paul ise eleştirel düşünmeyi "İnanç ve eyleme rehberlik etmek için gözlem, deneyim, yansıtma, akıl yürütme veya iletişimden toplanan veya bunlar tarafından üretilen bilgiyi aktif ve ustaca kavramsallaştırma, uygulama, analiz etme, sentezleme ve/veya değerlendirmenin entelektüel ve disiplinli süreci" olarak tanımlamıştır. Eleştirel düşünen birey, kendi fikirlerinin yanında kendine ait olmayan fikirleri de göz önüne alıp, öğrendiklerini pratiğe dökerek kendini ve çevresinde olup bitenleri anlayabilmeyi amaçlamaktadır (Çalışkan 2019).

Bakım ve uygulama üzerinde temellenen bilimsel bir disiplin olarak hemşirelik, bireylerin bakım ihtiyacını karşılayacak profesyonel, kanıta dayalı veri tabanı oluşturmaktadır. Profesyonel hemşirelikte mesleğe özgü bilgi birikimi ve bilimselleşme ile teori, uygulama ve araştırma süreçleri yürütülmektedir (Kaya ve diğ. 2019; Uzun 2024).

Tüm bu süreçlerde hemşireler, mesleki karar verme aşamasında bilgi birikimlerinin yanında farklı düşünme biçimlerine de ihtiyaç duymaktadır. Teknolojik değişimler ve karmaşıklaşan hastalıklar sebebiyle sorunların üstesinden gelmek için günümüzde eleştirel düşünme, hasta güvenliğini sağlamak ve kaliteli hemşirelik bakımı verebilmek için gereklidir. Sağlık profesyoneli olarak hemşireler, eleştirel düşünme ve bu doğrultuda karar alma yetkilerini kullanarak sorumluluk üstlenen bir meslek grubudur (Dikmen ve Usta 2013).

2. ELEŞTİREL DÜŞÜNME

Eleştirel düşünme, bireylerin eğitim, iş ve sosyal yaşamda karşılaştıkları bilgilerin doğruluğunu analiz etme, doğru kararlar verme ve sorunları çözme becerisidir. "Eleştirel" kelimesi genellikle olumsuz bir çağrışım yapsa da eleştirel düşünme aslında bilgiyi sorgulayan, şüphecilik ve kanıta dayalı bir değerlendirme sürecidir. Bu düşünme biçimi, mevcut bilgileri kullanarak yeni bilgiler üretmeyi, doğru kaynaklara ulaşmayı ve mantıksal analiz yapmayı içerir. Ayrıca, eleştirel düşünme dogmalar, ön yargılar ve taraflı düşüncelerden bağımsızdır.

Otoriteye dayalı bilgileri sorgulamadan kabul etmek eleştirel düşünme ile örtüşmez. Bunun yerine, fikirleri kanıtlara dayalı olarak değerlendirerek mantıklı sonuçlara ulaşmayı hedefler. Eleştirel düşünme; analiz, sentez ve değerlendirme becerilerini gerektirir ve bireylerin rasyonel düşünmesini sağlar (Kabataş Memiş 2021).

Temel düzey düşünme, dünyayla ilgili bilgi edinmeyi kapsarken; eleştirel düşünme, bireyin kendi veya başkalarının bilgisi üzerine düşünmesini içerir. Kişinin kendi düşünce sürecinin farkında olması ve bu süreci yönetmesi (üst biliş) eleştirel düşünmeyi temel düşünmeden ayırmaktadır. Eleştirel düşünme, bilgiyi elde etme, analiz etme, sorgulama, karşılaştırma ve kullanma gibi karmaşık bilişsel becerileri gerektiren kapsamlı bir üst düzey düşünme yöntemidir. Bireylerin alıştığı kalıplardan ve tekrarlardan kurtulduğu kasıtlı ve kontrollü bir bilişsel süreçtir. Değerlendirme, yargılama ve farklı bakış açılarını göz önüne alma, sonuçlar ve çıkarımların tartışılması yoluyla varsayımları, önyargıları ve bilgiyi incelemeyi içerir. Bu süreç, mantık, karşılaştırma ve akıl yürütme kullanarak fikirleri veya düşünceleri analiz etmeyi ve değerlendirmeyi içerir ve nihayetinde belirli teorilerin, davranışların veya bakış açılarının geliştirilmesiyle sonuçlanır (Yeşilyurt 2021).

Bazı filozoflara göre John Dewey, eleştirel düşünmenin modern kurucusudur. Dewey (1910), eleştirel düşünmeyi “bir inancın veya sözde bilgi biçiminin, onu destekleyen gerekçeler ve sona erdiği en uzak sonuçlar ışığında aktif, ısrarcı, dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi” olarak tanımlamaktadır. Bu doğrultuda, eleştirel düşünme; düşünme, soru sorma ve değerlendirme gibi etkinlikleri içeren aktif bir süreçtir (Kabataş Memiş 2021).

Ruggerio'ya (2011) göre eleştirel düşünürler, bilişsel sınırlarının farkında olup entelektüel dürüstlük sergileyerek hatalarına karşı duyarlıdırlar. Problemleri ve tartışmalı konuları entelektüel bir meydan okuma olarak görüp, derinlemesine anlamaya yönelik sistematik bir çaba gösterirler. Önyargılardan kaçınarak, yetersiz kanıt durumunda kesin yargılardan kaçınır ve yeni kanıtlar doğrultusunda görüşlerini revize ederler. Farklı bakış açılarına açık olup, katılımcı okuma ve dinleme becerisine sahiptirler. Aşırı uç görüşlerin sınırlılıklarının bilincinde olarak dengeli ve nesnel bir perspektif geliştirmeye özen gösterirler. Duygularını denetleyerek, düşünsel süreçlerini rasyonalite temelinde yapılandırır.

Ennis, ideal eleştirel düşünürlerin özelliklerini;

- Sonuç veya soru hakkında net ifadeler aramak ve sunmak,
- Temel sorunu akılda tutmak,
- Bu ifadelerin birbirleriyle olan ilişkileri konusunda net olmak,
- Doğru bilgiyi elde etme çabasında olmaya çalışmak,
- Güvenilir kaynaklar kullanmak ve kullanılan kaynakları belirtmek,
- İçinde bulunduğu durumu bütünüyle açıklamak,
- Açık fikirli olmak,
- Alternatif bakış açılarını ciddi şekilde değerlendirmek,
- Kanıt ve nedenler yetersiz olduğunda yargıda bulunmaktan kaçınmak,
- Kanıt ve nedenler yeterli olduğunda harekete geçmek,
- Konu doğasının izin verdiği kadar kesinlik aramak olarak sıralamıştır (Ennis, 2018).

Ennis'e göre ideal eleştirel düşünürler şunları yapma yeteneğine sahiptir; bir soruya odaklanma, argümanları analiz etme, açık sorular sorma ve cevaplama, temel grafikleri ve matematiği anlama ve kullanma (Ennis 2018).

Ennis'e göre eleştirel düşünme, eleştirel düşünme eğilimi ve eleştirel düşünme becerilerini içerir. Birey eleştirel düşünme yeteneğinin yanında bu yeteneği kullanmaya istekli olmalıdır. Eğilim, kişinin eleştirel düşünmeye karşı nasıl davranma eğiliminde olduğunun bir yoludur (Ennis 1985). Benzer şekilde Cheung ve arkadaşları (2002), eleştirel düşünmeyi iki ana boyutta sınıflandırmıştır: bilişsel ve eğilimsel (duyuşsal). Bilişsel boyut, analiz, değerlendirme, akıl yürütme, çıkarım yapma ve problem çözme gibi zihinsel süreçleri içerirken; eğilimsel boyut, açık fikirli olma, meraklılık, entelektüel özerklik ve bilişsel çaba gibi bireyin düşünmeye yönelik tutum ve eğilimlerini kapsamaktadır. Bu sınıflama, eleştirel düşünmenin yalnızca zihinsel becerilerle değil, aynı zamanda bireyin düşünme tutumlarıyla da şekillendiğini ortaya koymaktadır. Suyun susamış bir bitkiyi güçlendirmesi gibi duyuşsal eğilimler de eleştirel düşünme becerisinin köklenmesini sağlamaktadır (Facione 1990).

1990 yılında Delphi projesi olarak adlandırılan raporda, felsefe, eğitim, psikoloji gibi farklı disiplinlerden 46 uzman Delphi yöntemiyle, eleştirel düşünmenin bilişsel alt boyutlarını yorumlama, analiz, çıkarım, değerlendirme, açıklama ve öz düzenleme olarak sınıflandırmıştır (Tablo 1). Yorumlama, durum, olay, verinin anlamını ve önemini kavrama; analiz, amaçlanan çıkarımsal ilişkileri saptama; çıkarım, mantıklı sonuçlara ulaşmak için varsayım ve hipotez oluşturma; değerlendirme, güvenilirlik ve mantıksal gücü değerlendirme; açıklama, değerlendirmenin sonuçlarını belirtme; öz düzenleme, kişinin kendi çıkarımlarını analiz etmesi olarak açıklanmaktadır (Facione 1990).

Tablo 1. Eleştirel Düşünme Becerileri

Eleştirel Düşünme Becerileri	Tanımlar	Alt Beceriler
1. Yorumlama	Çeşitli deneyimlerin, durumların, verilerin, olayların, kararların, sözleşmelerin, inançların, prosedürlerin veya kriterlerin anlamını veya önemini anlama ve ifade etme	-Sınıflandırma -Önemini çözme -Anlamını aydınlatma
2. Analiz	İfadeleri, soruları, kavramları, tanımları ya da inanç yargılarını, deneyim, sebep, bilgi veya görüşleri ifade etmeyi amaçlayan diğer temsil şekilleri arasındaki amaçlanan ve fiili çıkarımsal ilişkileri tanımlamak	- Fikirleri gözden geçirme -Argümanları ayırt etme - Argümanları analiz etme
3. Değerlendirme	Bir kişinin algısını, deneyimini, durumunu, yargısını, inancını veya görüşünü değerlendirmek ve ifadeler, açıklamalar, sorular veya diğer temsil şekilleri arasındaki fiili veya niyetli çıkarımsal ilişkilerin mantıksal gücünü değerlendirme	- İddiaları değerlendirme - Argümanları değerlendirme
4. Çıkarım	Makul sonuçlar çıkarmak için gereken unsurları belirlemek ve güvence altına almak, varsayımı ve hipotez oluşturmak, konuyla ilgili bilgileri göz önünde bulundurmak ve verilerden, ifadelerden, kanıtlardan, kararlardan, inançlardan, görüşlerden, kavramlardan, tanımlardan, sorulardan veya diğer temsil şekillerinden kaynaklanan sonuçları azaltmak	-Kanıttan kuşkulana -Alternatifleri tahmin etme - Sonuçlar çıkarma
5. Açıklama	Muhakeme sonuçlarını belirtmek, nedenlerine dayandığı delil, kavramsal, metodolojik, eleştirel ve bağlamsal düşünceler çerçevesinde açıklamalarını gerçekleştirmek ve bir akıl yürütmeyi güçlü argümanlar biçiminde sunmak	- Sonuçları ifade etme - Prosedürleri doğrulama - Argümanları sunma

6. Öz düzenleme	Birinin bilişsel faaliyetlerini, bu faaliyete kullanılan unsurları ve elde edilen sonuçların özellikle gerekçelerini sorgulamak, onaylamak, doğrulamak ve düzeltmek amacıyla analiz ve değerlendirme becerilerini uygulaması ve ulaşılan sonuçları bilinçli olarak izlemesi	- Kendini gözden geçirme - Kendini düzeltme
-----------------	---	--

3. ELEŞTİREL DÜŞÜNME İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

Eleştirel düşünme becerisi, bireyin kendini gerçekleştirmesi açısından temel bir yetkinlik olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, bazı kuramcılar söz konusu becerinin doğal gelişim süreci içerisinde kendiliğinden ortaya çıkabileceğini öne sürerken, diğerleri ancak yapılandırılmış ve sistematik bir eğitim süreciyle geliştirilebileceğini savunmaktadır. Eleştirel düşünmenin öneminin kavranması ve eleştirel düşünmeyi geliştirmede hangi yolların kullanılabileceğinin saptanması için, ilişkili olduğu kavramları incelemekte fayda vardır. Literatürde eleştirel düşünme; sorgulama, akıl yürütme, argümantasyon ve üst biliş kavramlarıyla ilişkilendirilmiştir (Bowe, Kjesrud ve Hemsley 2020).

Sorgulama, eleştirel düşünmenin temel taşlarından biri olup, bireyin bilgiyle ilgili sorular sorma, ön kabullerini ve yargılarını değerlendirme ve anlamaya yönelik derinlemesine bir analiz sürecidir. Bu süreçte birey, bilgiyi doğrudan kabul etmek yerine, sorular sorarak eleştirel bir süzgeçten geçirmektedir (Ennis 2018). Sorgulama sürecinde bir öğrenen/düşünür, karşılaştığı problemi çözmek için bilgi dağarcığını kullanarak hipotezler üretir. Bu hipotezlerden uygun olanı akıl yürütme becerilerini kullanarak seçer ve değişkenleri belirler; süreci kurgular ve deneme işine koyulur (Büyükşahin ve Kınır 2021).

Eleştirel düşünme bağlamında akıl yürütme, bireyin mantıklı ve tutarlı sonuçlara ulaşmak için elindeki verileri ve kanıtları değerlendirmesi, argümanlar arasında bağlantılar kurması ve çıkarımlarda bulunmasını içermektedir. Bilinen yargılarla bilinmeyene ulaşma işidir (Mozaffari ve diğ. 2021). Akıl yürütme, akademik hayatın yanı sıra gündelik hayatta da birçok alanda kullanılan bir beceridir ve çıkarımlar ile ilerlemektedir. İnsan zihni, belirsizlikle başa çıkamamakta ve olayları netleştirmek için çıkarımlar yapıp, akıl yürüterek düzenini korumaya çalışmaktadır (Durhan 2020).

Eleştirel düşünmenin sosyal boyutu olan arüman, kelime anlamı ile “kanıt, tez, iddia, sav” demektir. Argüman, düşünme sürecinde olay veya durumlar için bir sebep ileri sürmek ve olayın/durumun sebeplerini uygun deliller üzerinden farklı bakış açıları ile değerlendirmektir (İnam ve Güven 2019). Eleştirel düşünme sayesinde bilim insanları kendi argümanlarının sınırlılıklarını görerek, alternatif düşünceleri tartışarak ortak düşüncede uzlaşmaya varma yoluna gitmektedirler (Büyükşahin ve Kınır 2021).

Üstbiliş, John Flavell tarafından 1979'da ortaya atılan ve eleştirel düşünme ile ilişkili bir kavramdır. Üstbiliş, bilişsel süreçler hakkında bilgi ve farkındalıktır. Kişinin ne bildiğini ve ne bilmediğini bilmesi olarak tanımlanan üstbiliş, öğrenme sürecindeki bilişsel faaliyetlerin kontrolünü sağlayan yüksek düzey düşünme becerisidir. Bireyin bilişsel ve duyuşsal faaliyetlerine dair bilgisi ve bu faaliyetleri bilinçli olarak izleme, kontrol etme becerisini de kapsamaktadır. Bu bağlamda, eleştirel düşünmenin geliştirilebilmesi için yalnızca bilgi edinmek değil, aynı zamanda bu bilgiyi sorgulamak, mantıksal çıkarımlar yapmak, etkili argümanlar oluşturmak ve düşünme süreçlerini bilinçli bir şekilde yönetmek gerekmektedir (Kalemkuş 2021).

Eleştirel düşünme becerisini ölçmek için geliştirilen ölçeklerden biri, Facione, P.A., Facione, N.C. ve Giancarlo tarafından 1998 yılında geliştirilen, Türkçeye geçerlik-güvenirlik çalışması

Kökdemir (2003) tarafından yapılmış olan, California Eleştirel Düşünme Eğilimleri Ölçeği (The California Critical Thinking Disposition Inventory)'dir. Kaliforniya Eleştirel Düşünme Eğilimleri Ölçeği 1990 yılında Amerikan Felsefe Derneği'nin düzenlediği Delphi Projesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Ölçeğin kuramsal olarak belirlenmiş ve psikometrik olarak da test edilmiş 7 alt ölçeği (Doğruyu arama, açık fikirlilik, analitiklik, sistematiklik, kendine güven, meraklılık ve olgunluk alt ölçekleri) bulunmaktadır ancak eleştirel düşünme eğilimini belirlemek amacıyla bu ölçeklerin toplamından oluşan puanlama sistemi kullanılmaktadır (Kökdemir ve Dönmez 2003).

Watson Glaser Eleştirel Akıl Yürütme Gücü Ölçeği adlı ölçme aracı, cevaplayıcıların eleştirel akıl yürütme güçlerini ölçmek amacıyla Goodwin Watson ve Edward Glaser (1964) tarafından geliştirilip Türkçe'ye Nukhet Çıkrıkçı (1992) tarafından adapte edilmiştir. Ölçeğin geliştirilmesinde, eleştirel düşünme yetenekleri; bir problemi tanımlama, problemin çözümü için uygun bilgiyi seçme, yapılandırılmış ve yapılandırılmamış varsayımları tanıma, ilgili ve sonuca götürücü hipotezleri seçme ve formüle etme ile geçerli sonuçlar çıkarma ve çıkarımların geçerliliğini değerlendirme boyutlarına dayandırılmıştır (Vural ve Kutlu 2004).

4. GELİŞİMSEL SÜREÇTE ELEŞTİREL DÜŞÜNME

Eleştirel düşünme becerisi için gerekli olan zihinsel kapasite yaşam boyu devam eden süreç içinde gelişmektedir. Bebeklik döneminde atılan temeller büyüme sürecinde şekillenmektedir. Sekiz-on iki aylar arası bebeklerin davranışlarında planlılık ve niyetliliğin ortaya çıktığı, Piaget'in 'ikincil şemaların eş güdümlenmesi' olarak adlandırdığı süreçtir. Bu süreçte bebek araç ile amaç arasındaki ilişkiyi anlamaya başlamıştır ve amacına ulaşmak için aracı nasıl kullanacağını bilmektedir. Bu noktada tahmin yürütme ve çıkarım yapma becerisinin temelleri atılmaktadır. 18. aya kadar problem çözümünde deneme-yanılma yöntemi kullanılırken 2 -4 yaşlar arasında çocuk sembollerini kullanmaya başlar. Bu dönemde dil kullanımı gelişen çocuk ortamda bulunmayan bir nesneyi zihinsel olarak ifade edebilir (Yiğit 2020).

Bilişsel gelişime yönelik tüm beceriler (düşünme, karar verme, odaklanma vb.), doğrudan veya dolaylı olarak prefrontal korteks ile ilişkilidir. Prefrontal korteks, insanı diğer canlılardan ayıran yüksek bilişsel işlevlerin kontrol merkezidir ve algılama, hafıza, irade gibi bilinçli süreçlerle bağlantılıdır. İtki kontrolü, sağlıklı karar verme ve alternatifleri değerlendirme gibi yürütücü işlevlerde önemli bir rol oynar. Çocukluk döneminde bu becerilerin gelişimi, prefrontal korteksin olgunlaşmasına bağlıdır ve bu süreç yaklaşık dört yaş civarında belirginleşmeye başlar. Dört-yedi yaşlar arasını kapsayan sezgisel düşünce alt evresinde, çocuklar akıl yürütmeye ve sorular sormaya başlarlar. Benmerkezcilikte azalma görülürken çocuk kendini başkasının yerine koyma becerisini geliştirir. Bu beceri başkalarının fikirlerini göz önüne alarak çevrede olup bitenleri anlamayı sağlamakta ve bu özelliğiyle eleştirel düşünmeyi yansıtmaktadır (Eroğlu 2023).

Dokuz-on bir yaş dönemindeki çocuklar, stratejilerin nasıl ve neden işe yaradığı konusunda farkındalık geliştirir ve iyi akıl yürütmeyi kötüden ayırt edebilirler. Ayrıca, zihinsel bir etkinliğin veya bilişsel performansın birden fazla faktörden etkilendiğinin farkına varırlar. Yaş, motivasyon, görevin zorluk derecesi ve stratejilerin kullanımı gibi unsurların bilişsel süreçler üzerindeki etkisini anlamaya başlarlar. Bu nedenle, orta çocukluk döneminde üstbiliş daha karmaşık bir düşünme sistemine evrilir (Smartchkova ve Shea 2020).

Ergenlik dönemi, eleştirel düşünmenin gelişiminde kritik bir rol oynar. Piaget, bu dönemi soyut işlem düşüncesi olarak tanımlayarak bireyin somuttan soyuta, geleceğe yönelik düşünmeye yöneldiğini belirtmiştir. Ergenlikte, bilgi birikimi, bilgi işleme hızı, otomatiklik, yeni bilgi kombinasyonları oluşturma ve bilişsel izleme gibi beceriler gelişir. Ancak, okuma ve matematik

gibi temel beceriler yeterince gelişmemişse, eleştirel düşünme becerilerinin ilerlemesi sınırlı olabilir. Okuma, metni doğru anlama ve eleştirel bakışı desteklerken, matematik farklı düşünme stratejileri kazandırarak entelektüel gelişime katkıda bulunmaktadır (Yaralı 2020).

Bebeklik döneminden ergenlik ve sonrasına kadar bilişsel gelişimdeki aşamalar, eleştirel düşünme becerisinin gelişimine katkı sağlamaktadır. Bebeklikte amaçlı davranış ve niyet algılama, okul öncesinde zihin kuramı ve yürütücü işlevler, orta çocuklukta zihinsel stratejiler ve ergenlikte tümdengelimli akıl yürütme ile hipotetik düşünme, eleştirel düşünmenin temelini oluşturmaktadır.

5. ELEŞTİREL DÜŞÜNMEDE KULLANILAN ALTI DÜŞÜNME ŞAPKASI YAKLAŞIMI

Altı Düşünme Şapkası yaklaşımı De Bono'nun beynin işleyişine dair algı yönteminden türetilmiştir. De Bono, beynin dinamik ve özerk bir mekanizma olarak desenleri düzenlediğini savunmaktadır. Bu doğrultuda, Altı Düşünme Şapkası tekniğini geliştirerek düşünme süreçlerini daha sistematik hale getirmiştir. Bu teknik, altı farklı yapay yapı oluşturarak düşünme bağlamlarının eklenip çıkarılmasına olanak tanımaktadır. Şapkaların değiştirilmesi, odak noktasını farklı bir zihniyete yönlendirerek düşünme biçimlerini çeşitlendirmeyi ve daha kapsamlı bir değerlendirme yapmayı sağlamaktadır (Sohi ve Singh 2023).

Mavi şapka, düşünme sürecini yöneten ve düzenleyen otoriteyi temsil ederken çözümlere, kararlara ve genel bakışa odaklanarak seçim yapmada yardımcı olmaktadır. Siyah şapka, eleştirel ve ihtiyatlı düşünmeyi temsil etmektedir. Olumsuz değerlendirmelere odaklanarak riskleri ve potansiyel sorunları analiz etmektedir. Beyaz, tarafsızlığı, kanıtı, akıllı ve bilgiyi kapsamaktadır. Kırmızı şapka, hisler, içgüdüler ve duygularla ilişkilidir. Düşünme sürecinde duygusal tepkileri ve sezgileri dikkate alarak hızlı içgörü sağlamaktadır. Sarı, genellikle olumlu tahminlerle ilişkilendirilen iyimser bir bakış açısını temsil etmektedir. Önerilen eylemlerin, ilkelerin, kavramların ve avantajların olumlu sonuçlarını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu şekilde, yaratıcı problem çözme için gerekli olan empati yeteneğini teşvik etmektedir. Yeşil şapka, yaratıcılığı ve alternatif fikirlerin üretilmesini temsil ederken yanal düşünmeyi teşvik ederek inovasyon ve yeni çözümler geliştirmeye yardımcı olmaktadır (Karmakar ve Chattopadhyay 2024).

6. HEMŞİRELİKTE ELEŞTİREL DÜŞÜNME

Eleştirel düşünme, düşünce süreçlerini iyileştirmek amacıyla analiz etme ve değerlendirme sanatıdır. Eleştirel düşünme, kendi kendine yönlendirilen, kendini disipline eden, izleyen ve düzelten düşünmedir (Paul ve Elder 2019).

Hemşirelikte eleştirel düşünme, hasta bakımını etkileme potansiyeli olduğundan oldukça önemli becerilerden biridir. Hemşireler, bakım süreçlerinde çeşitli seçenekleri değerlendirip hızlı kararlar almak zorunda kalmaktadır. Bu süreçte hemşireler, hasta verilerini inceleyerek, kanıta dayalı uygulamaları değerlendirerek, teorik bilgi ve klinik deneyimleriyle en uygun kararı almayı amaçlamaktadırlar. Eleştirel düşünme, hemşirelerin mesleki yeterliliklerini artırarak, etkili klinik kararlar almasını ve bakım süreçlerini başarılı bir şekilde yönetmesini sağlamaktadır (Şendur ve Yılmaz 2023).

Ulusal ve uluslararası hemşirelik kuruluşları, eleştirel düşünmeyi hemşirelik eğitimi ve uygulamalarında temel bir unsur olarak görmekte ve hasta bakımında önemli bir araç olarak değerlendirmektedir. Hemşireliğin disiplin olarak gelişiminin, bilimsel temellere dayanan, kanıta dayalı uygulamaları benimseyen, araştıran ve sorgulayan hemşirelerin eleştirel düşünme becerilerini geliştirmesiyle mümkün olacağını düşünülmektedir (Kaya ve Şendir 2021).

Hemşirelik süreci, veri toplama, tanılama, planlama, uygulama ve değerlendirme aşamalarından oluşan bir yaklaşımdır. Bu süreç, hemşirelik uygulamalarının mantıklı bir akış içinde yapılmasını sağlar ve bireye özgü, nitelikli bakım sunmak için bir problem çözme ve karar verme yöntemi olarak tanımlanır. Amerikan Hemşireler Birliği (2018), hemşirelik sürecini hasta merkezli ve holistik bakımın sağlanmasında önemli bir unsur olarak görmektedir. Hemşirelik süreci hem felsefi hem de bilimsel bir temele dayanarak, bakımın daha etkili ve uygun kararlarla yapılmasını sağlar. Hemşirelik sürecinin aşamaları (veri toplama, tanılama, planlama, uygulama ve değerlendirme) bilimsel problem çözme basamaklarıyla paralellik gösterdiği gibi eleştirel düşünme süreci (yorumlama, analiz, çıkarım, değerlendirme, açıklama ve öz düzenleme) ile de paralellik göstermektedir (Basit 2020).

Hemşirelik sürecinin veri toplama basamağında, bakım verilen bireyin sağlık öyküsü ve fonksiyonel durumu hakkında kapsamlı ve sistematik olarak veri toplanmaktadır. Toplanan verinin doğruluğu ve kalitesi sürecin diğer aşamalarını etkilemektedir. Hemşire, veri toplama sürecinde hangi bilgileri, ne zaman ve nasıl toplayacağına karar verirken elindeki verileri analiz eder, klinik deneyimini ve mesleki bilgisini kullanarak süreci yönetir. Bireyin durumu ve gereksinimlerine göre kapsamlı, acil veya problem odaklı değerlendirme yapar. Bu süreçte eleştirel düşünme, büyük resmi görmeyi sağlayarak doğru çıkarımlar yapmaya ve etkili kararlar almaya yardımcı olur (Şendur ve Yılmaz 2023).

Hemşire, veri toplama sürecinin ardından, hastanın mevcut sağlık sorunlarını ve sağlık bakım ihtiyaçlarını belirleyerek uygun hemşirelik sınıflama sistemlerini (OMAHA, NANDA, HHCC vb.) kullanarak tanılama yapar. Bu aşamada hemşirenin; hemşirelik tanılarını, tanıların belirleyici özelliklerini, ilişkili faktörleri ve uygun hemşirelik girişimlerini kapsamlı bir şekilde bilmesi gerekmektedir. Tanılama süreci elde edilen verilerin analiz edilmesini, sağlık sorunlarının sistematik bir şekilde tanımlanmasını ve bilimsel temellere dayalı hemşirelik tanıların formüle edilmesini içermektedir (Basit 2020).

Planlama sürecinde, öncelikli sorunun ne olduğu, hangi girişimin hangi sırayla uygulanacağı gibi sorulara cevap aranmaktadır. Hemşire bu aşamada bakım hedeflerini belirleyerek önceliklendirme yapmakta, bireyin gereksinimine en uygun girişimi seçmeyi hedeflemektedir. Bu süreçte problem çözme, yaratıcı düşünme ve klinik akıl yürütme becerisini kullanmaktadır. Uygulama aşaması planlama sürecinde belirlenen hedeflere ulaşmak için bakımın verilmesi, gerçekleştirilmesini içerir. Bakımın etkin şekilde verilmesi mesleki bilgi, deneyim ve olumlu kişiler arası iletişim yeteneğine bağlıdır. Hemşire uygulamayı doğru bir şekilde yaparken diğer yandan hastanın genel durumunu sürekli olarak analiz edip değerlendirmeye devam etmektedir (Birol 2013).

Sürecin değerlendirme aşamasında verilen hemşirelik bakımının etkinliğini değerlendirmek için hastada beklenen sonuçlara ulaşma durumu gözlemlenmektedir. Girişim öncesi ve sonrasında elde edilen veriler karşılaştırılmaktadır. Bu aşamada eleştirel düşünme kullanılarak, Probleme sebep olan etken ortadan kaldırılabilir mi? Hastanın şikayetleri azaldı mı? Problemin çözülmesini engelleyen faktörler nedir? gibi sorularla durum analiz edilmektedir. Değerlendirmede beklene sonuçlara ulaşamadığında süreç tekrarlanmaktadır (Birol 2013).

Hemşirelik teorik olmasının yanında büyük ölçüde pratik bir disiplindir ve temel amacı bireyin sağlığına ilişkin maksimum iyilik hali ve bağımsızlığın sağlanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için ortaya çıkan sorunların durumların tanımlanması, en doğru şekilde yönetilmesi için etkili karar verme süreçlerini destekleyecek belirli yetkinliklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Hemşire, doğruyu yanlıştan, savunulabilirli savunulamazdan, yüksek önceliği düşük öncelikten ve uygulanabilirliği uygulanamazdan ayırt edebilmelidir. Hemşirelik

alanındaki yetkinliklerin hızla gelişmesi, mesleğin sağlık hizmetlerindeki profesyonel özerkliğini güçlendirmekte ve hemşirelerin gerekli müdahaleleri belirleme ile bu müdahalelerin bireyin sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirme sorumluluğunu artırmaktadır (Riegel ve diğ. 2021).

Eleştirel düşünme, düşünceleri düzenleme ve sınıflandırma becerileri ile diğer profesyoneller veya ilgili taraflarla fikir alışverişi yapmayı gerektirir. Tanımlanmış değerlendirme kriterlerine dayalı olarak yargılama ve analiz yapma becerileri de gereklidir. Bu bilişsel süreç, kişiyle ilgili ve ilgisiz bilgileri ayırt etmesini, olası çözüm veya stratejiler üretmesini ve bunların avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmesini gerektirir. Eleştirel düşünme hem bir süreç hem de bir öğrenme çıktısıdır. Eleştirel düşünme ile klinik akıl yürütme becerisinin geliştirilmesi, hemşirelik mesleğinin en önemli ve en zorlu görevlerinden biridir (Jiménez-Gómez ve diğ. 2019).

Hemşirelerin karşılaştığı problemlerin doğası, bu sorunları çözmek için diğer teorik disiplinlerden farklı bir sistem gerektirir. Yetersiz bilgi olasılığı, neden hakkında belirsizlik, sıkça değişen durumlar ve sorunun ya da durumun mantıklı bir şekilde, uygun bir zaman diliminde doğru bir şekilde çözülmesi gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür durumlar, problem çözme ve karar verme için karmaşık bir ortamı karakterize eder. Benzer şekilde, başlıca pratik olan disiplinlerde bu tür sorunları yönetmek için birey, bilgi eksikliklerini veya eksik bilgileri tespit etme, yeni bilgileri arama ve yorumlama yeteneğine sahip olmalı ve çözümü belirli duruma uyarlama becerisine sahip olmalıdır (Wilkinson 2012).

Eleştirel düşünme, klinik pratiğin önemli bir parçasıdır ve klinik farkındalık ile hassasiyetle ilişkilidir. Hastanın tanı, tedavi ve bakım sürecinde alınan kararlar ve yapılan müdahaleler, hastanın gelecekteki sağlığı üzerinde büyük etkiler yaratabilir. Kritik durumlarda, verilen kararlar hastanın prognozunu belirleyebilir. Bu süreç, klinikte genellikle eksik bilgiyle, hızlı bir şekilde ve bazen daima farkında olunmadan yapılmaktadır. Sağlık profesyonelleri, eleştirel düşünmeyi çoğunlukla bireysel olarak ve deneyimlerine dayanarak gerçekleştirmektedir (Price 2015).

Bu nedenle, hemşirelik programlarında var olan temel ayrılıkların azaltılması için kapsamlı ve sistematik bir çaba gerekmektedir. Özellikle, teori ve pratik arasındaki uyumsuzluk, eğitim süreci ile mesleki uygulama arasındaki farklar giderilmeli ve öğrencinin öğretme-öğrenme sürecindeki pasif rolü yerine, meslek hayatında beklenen niteliklere uygun şekilde yetiştirilmesi sağlanmalı ve eleştirel düşünme kabiliyeti kazandırılmalıdır. Hemşirelik eğitimi, öğrencilerin yalnızca bilgi alıcıları olmasının ötesine geçerek, onları aktif, proaktif, yaratıcı, analitik düşünme becerisine sahip, bağlamsal perspektifi güçlü, esnek, mantıksal düşünebilen, sürekli bilgi arayışında olan ve sağlık sorunlarının çözümüne mesleki bilgi ve becerileriyle katkı sunabilen bireyler olarak yetiştirmeyi hedeflemelidir (Jiménez-Gómez ve diğ. 2019).

Hemşirelerin ve hemşirelik öğrencilerinin eleştirel düşünme yeteneklerini ve bunu etkileyen faktörleri ortaya koymak amacıyla birçok araştırma yapılmıştır (Uyar ve Güven 2020; Tayaz ve Koç 2022; Çalışkan ve Doğan 2022; Eskidemir 2020).

Çalışkan ve Doğan (2022), hemşirelik eğitiminde öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerinin empatik beceri, empatik eğilim ve karar verme becerileri üzerinde önemli ölçüde ilişkisi olduğu ortaya koymuştur. Eskidemir (2020), öğrencilerin eleştirel düşünme ve duygusal zekaları arasında pozitif ve orta düzey bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bununla beraber hemşirelik öğrencilerinin okudukları kitap sayısı arttıkça eleştirel düşünme düzeylerinde artış görülmüştür (Yılmaz Doğan 2010). Hemşirelik öğrencilerinin eleştirel düşünme eğilimleri ile otonomi düzeyleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmaya göre; eleştirel düşünme

ile otonomi arasında pozitif yönde orta düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Uyar ve Güven 2020).

Hemşirelik öğrencilerinde kavram haritasının problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerine etkisini inceleyen çalışmalarda, öğrencilerin kavram haritalarını kullanarak daha iyi analiz yapabildiği, problem çözme süreçlerinde daha yaratıcı çözümler üretebildiği ve kavram haritalarının eleştirel düşünme becerilerini önemli ölçüde artırdığını ortaya konulmuştur (Erdem ve diğ. 2017; Ebrahim Ammar ve diğ. 2024).

Son yirmi yılda hemşirelik alanında eleştirel düşünme ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin retrospektif incelenmesini içeren bir araştırmada; yoğun bakım hemşirelerinin eleştirel düşünme eğilimlerinin yüksek olduğu, eleştirel düşünme düzeyleri arttıkça iş doyumlarının da arttığı, eleştirel düşünme eğiliminin cerrahi kliniklerde çalışan hemşirelerde orta düzeydeyken acil serviste görev yapan hemşirelerde düşük olduğu, hemşire akademisyenlerin eleştirel düşünme tutumlarının ise ortalamanın altında kaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır (Tayaz ve Koç 2022).

7. SONUÇ

İyi bir eleştirel düşünür, sorunları açık ve doğru bir şekilde tanımlamakta, ilgili verileri analiz ederek soyut kavramları etkili biçimde yorumlamayabilmektedir. Sağlam temellere dayalı mantık yürüterek sorunlara çözümler üretmekte ve bunları belirli ölçütlere göre değerlendirmektedir. Farklı düşünme sistemlerine açık olup varsayımlarını, sonuçlarını ve olası etkilerini sorgulamaktadır. Ayrıca, karmaşık problemlere yönelik çözümler geliştirirken etkili iletişim kurmakta ve yanlış bilgiyi ayırt etmektedir (Paul ve Elder 2019).

Hemşirelikte eleştirel düşünme, klinik karar verme sürecini geliştirerek hasta güvenliğini artırmakta ve kanıta dayalı uygulamaların etkin şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, problem çözme ve analiz yeteneğini güçlendirerek hemşirelerin karmaşık sağlık durumlarına hızlı ve doğru müdahale etmesine olanak tanıtmasıyla klinik karar vermede önemli bir beceri olarak öne çıkmaktadır. Sağlık alanındaki hızlı değişimler, bilgi ve teknolojiye ileriye, sorunlara çözüm üretebilen ve klinik kararlar alabilen hemşirelere duyulan ihtiyacı artırmaktadır (Kaya ve Şendir 2021).

KAYNAKLAR

- American Nurses Association (ANA), (2018). The Nursing Process. Erişim adresi: <https://www.nursingworld.org/practice-policy/workforce/what-is-nursing/the-nursing-process/>
- Atasoy B, Güyer T, Ünal M, Yüksel AO, & Aydoğdu Ş. (2021). Delphi tekniği kullanılarak kritik ve öncelikli öğrenme analitiği göstergelerinin belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi 41(2), 697-728.
- Birol L. (2013). Hemşirelik Süreci-Hemşirelik Bakımında Sistemik Yaklaşım. 10. Baskı. Berke Ofset Matbaacılık, İzmir.
- Bowe BJ, Kjesrud R, Hemsley P. (2020). Improving Inquiry Questions to Foster Critical Thinking and Reflective Practice in a Journalism Capstone. Journalism & Mass Communication Educator 75(3), 308-320. <https://doi.org/10.1177/1077695820906359>
- Burke SM. (2017). Cultivating critical thinking using virtual interactive case studies. Journal of pediatric nursing 33, 94-96.
- Çalışkan M. (2019). Eleştirel düşünmenin öğretimi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi 9(1), 114-134.

- Çalışkan BB, Doğan R. (2022). Hemşirelik Öğrencilerinin, Eleştirel Düşünme Becerilerinin Karar Verme, Empatik Eğilim ve Becerileri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *Yeni Yüzyıl Journal of Medical Sciences* 3(2), 116-122.
- Cheung D, Chan KW, Tang C. (2002). Development of a critical thinking inventory for nursing students. *Nurse Education Today* 22(3), 189-195.
- Dikmen YD, Usta YY. (2013). Hemşirelikte Eleştirel Düşünme. *SDU Journal of Health Science Institute/SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4(1).
- Durhan G. (2020). Günlük Yaşamda Kullanılan Bir Düşünme Biçimi Olarak Abdüktif Akıl Yürütme. *Beytulhikme: An International Journal of Philosophy* 10(2).
- Durhan G. (2021). Eleştirel düşünme: bir sokratik sorgulama metodolojisi. *Temaşa Erciyes Üniversitesi Felsefe Bölümü Dergisi* (15), 86-97.
- Ebrahim Ammar AO, Khalifa MI, Ahmed FAE, Salama AHE. (2024). Effect of Concept Mapping on Critical Thinking of Pediatric Nursing Students Caring for Children with Pneumonia. *Menoufia Nursing Journal* 9(3), 271-288.
- Eğmir E, Ocak G. (2018). Eleştirel düşünme becerisi öğretim programı tasarısının öğrencilerin yansıtıcı düşünme becerilerine etkisi. *Journal of Theoretical Educational Science* 11(3), 431-456.
- Ennis RH. (1985). A logical basic for measuring critical thinking skills. *Educational Leadership* 43(2), 44-48.
- Ennis RH. (2018). Critical thinking across the curriculum: A vision. *Topoi* 37, 165-184.
- Erdem E, Efe YS, Başdaş Ö, Bayat M, Korkmaz Z, Uslu N. (2017). Hemşirelik öğrencilerinde kavram haritasının problem çözme ve eleştirel düşünme düzeylerine etkisi. *Sağlık Bilimleri Dergisi* 26(2), 147-152.
- Eroğlu M. (2023). Çocukluk döneminde bilişsel gelişim: Piaget ve Vygotsky'nin bilişsel gelişim kuramlarının incelenmesi ve karşılaştırılması. *Journal of Education and New Approaches* 6(1), 69-77.
- Eryürük D, Korkmaz Z, Başdaş Ö, Yıldız İ, Erdem E, Bayat M. (2022). Professional Self-Concept and Critical Thinking of Pediatric Nurses in Turkey. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 13(2), 292-298.
- Eskidemir S. (2020). Hemşirelik lisans ve yüksek lisans öğrencilerinde eleştirel düşünme ve duygusal zeka arasındaki ilişkinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- Facione PA. (1990). Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assesment and instruction-executive summary-The Delphi Report.
- Jiménez-Gómez MA, Cárdenas-Becerril L, Velásquez-Oyola MB, Carrillo-Pineda M, Barón-Díaz LY. (2019). Reflective and critical thinking in nursing curriculum. *Revista latino-americana de enfermagem* 27, e3173.
- Kalemkuş J. (2021). Bilmeyi bilme: üstbiliş. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi* (42), 471-495.
- Karmakar P, Chattopadhyay KN. (2024). Six thinking hats: A educational technique to enhance cognitive abilities in education. *Asian Journal of Education and Social Studies* 50(1), 167-173.
- Kaya A, Karataş N, Dalgıç Aİ. (2019). Profesyonellik Çerçevesinde Hemşirelik Bilimi: Genel Bir Bakış. 2nd International Health Sciences and Life Congress 24-27 April 2019 Burdur/TURKEY
- Kaya A, Şendir M. (2021). Hemşirelik eğitimi ve uygulamalarında eleştirel düşünme stratejileri ve boyutları. *Hemşirelik Bilimi Dergisi* 4(3), 163-168.

- Kobyay Bulut H, Bulut E. (2020). Pediatri Hemşirelerinin Eleştirel Düşünme Eğilim Düzeyleri ve Etkileyen Faktörler. *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences* 12(1).
- Kökdemir DY, Dönmez ATD. (2003). Belirsizlik durumlarında karar verme ve problem çözme. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal Psikoloji Anabilim Dalı. Doktora Tezi.
- Mozaffari Z, Abdollahi MH, Farzad V, Ghayedi Y. (2021). The effectiveness of critical thinking training based on the Paul-Elder model on students' critical thinking skills.
- Price B. (2015). Applying critical thinking to nursing. *Nursing Standard* 29, 51, 49-58.
- Riegel F, Crossetti MDGO, Martini JG, Nes AAG. (2021). Florence Nightingale's theory and her contributions to holistic critical thinking in nursing. *Revista brasileira de enfermagem* 74(2), e20200139.
- Ruggerio VR. (2011). *Beyond feelings: a guide to critical thinking* (Ninth Edition). New York: McGraw-Hill.
- Smortchkova J, Shea N. (2020). Metacognitive development and conceptual change in children. *Review of Philosophy and Psychology* 11(4), 745-763.
- Şendur EG, Yılmaz AA, Gör A. (2023). Hemşirelik sürecinde anahtar öge: Eleştirel düşünme. *Yaşam Boyu Hemşirelik Dergisi* 1(1), 118-135.
- Sohi KK, Singh N. (2023). What it means putting your thinking hat on six thinking hats to Enhance creativity. *Asian Research Journal of Arts & Social Sciences* 20 (2):37-45.
- Tayaz E, Koç A. (2022). Son Yirmi Yılda Hemşirelik Alanında Eleştirel Düşünme İle İlgili Yapılan Lisansüstü Tezlerin Retrospektif İncelenmesi. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 6(1), 1-13.
- Uzun Ş. (2024). Hemşirelik felsefesi. Karadağ A, Çalışkan N, Göçmen Baykara Z. (Ed.), *Hemşirelik kavramları*. S. 112-113. Nobel Kitap, Ankara, 2024.
- Uyar M, Güven Ş. (2020). Hemşirelik öğrencilerinin eleştirel düşünme eğilimleri ile otonomi düzeyleri arasındaki ilişki. *Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi* 7(3).
- Vural AGRA, Kutlu YDDO. (2004). Eleştirel düşünme: ölçme araçlarının incelenmesi ve bir güvenilirlik çalışması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 13(2).
- Yaralı KT. (2020). Gelişimsel açıdan eleştirel düşünme ve çocuklarda eleştirel düşünmenin desteklenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 48, 454-479.
- Yeşilyurt E. (2021). Eleştirel Düşünme ve Öğretimi: Tüm Boyut ve Öğelerine Kavramsal Bir Bakış. *Journal of International Social Research* 14(77).
- Yiğit R. (2020). Gelişim kuramları. *İçinde Çocukluk dönemlerinde büyüme ve gelişme* (2. baskı, ss. 76-120). Çukurova Nobel Tıp Kitabevi. Antalya
- Wilkinson J.M. (2012). *Nursing process and critical thinking*, 5th ed. Pearson.

BİLİM FELSEFESİ PERSPEKTİFİNDEN PEDIATRİ HEMŞİRELİĞİNDE AİLE MERKEZLİ BAKIMDAN ÇOCUK MERKEZLİ BAKIMA GEÇİŞ

Ashhan HACISALİHOĞLU

Çukurova University, Faculty of Health Science, Department of Child Health and Disease Nursing, Balcalı, Adana

ORCID ID: 0000-0003-3589-0173

ÖZET

Bu derlemede, pediatri hemşireliğinde çocuk merkezli bakım yaklaşımı bilim felsefesi bağlamında ele alınmakta; hemşirelik biliminin tarihsel süreçte biyomedikal modelden insancıl paradigmalara geçişinin çocuk sağlığı hizmetlerine yansımaları incelenmektedir. İnsancıl paradigma, bakım sürecini empati, anlamlandırma, terapötik iletişim ve bireyin öznel deneyimlerini merkeze alarak yeniden yapılandırmıştır. Bu dönüşümün pediatrik alandaki en güncel yansıması çocuk merkezli bakım anlayışı olup, çocukların bakım sürecinde pasif alıcı değil aktif birer özne olarak konumlandırılmasını savunmaktadır. Çocuk merkezli bakım, çocuk hakları, katılım, öznellik ve gelişimsel ihtiyaçlara duyarlılık temelinde şekillenmekte ve aile merkezli bakımın ötesine geçerek çocuğun özgün deneyimini bakımın merkezine yerleştirmektedir. Derleme, hemşirelikte yaşanan paradigmatic değişimin çocuk merkezli yaklaşımı nasıl desteklediğini ortaya koyarak, çağdaş pediatri hemşireliği uygulamalarında çocuk odaklı felsefi bir temelin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çocuk merkezli yaklaşım, bilim felsefesi, paradigma değişimi

TRANSITION FROM FAMILY-CENTERED CARE TO CHILD-CENTERED CARE IN PEDIATRIC NURSING FROM A PHILOSOPHY OF SCIENCE PERSPECTIVE

ABSTRACT

This review examines the child-centered care approach in pediatric nursing within the context of philosophy of science, examining the impact of the historical transition of nursing from a biomedical model to a humanistic paradigm on child health services. The humanistic paradigm restructured the care process by focusing on empathy, meaning-making, therapeutic communication, and the individual's subjective experiences. The most recent reflection of this transformation in the pediatric field is the concept of child-centered care, which advocates for positioning children as active agents rather than passive recipients in the care process. Child-centered care is shaped by the foundation of children's rights, participation, subjectivity, and sensitivity to developmental needs, transcending family-centered care and placing the child's unique experience at the center of care. The review demonstrates how the paradigmatic shift in nursing supports the child-centered approach and emphasizes the importance of a child-centered philosophical foundation in contemporary pediatric nursing practice.

Keywords: Child-centered approach, philosophy of science, paradigm shift

1. GİRİŞ

Aile merkezli bakım, yalnızca çocuğa değil, tüm aileye yönelik bütüncül bir bakım anlayışını benimsemektedir. Bu modelde tüm aile üyeleri bakım sürecinin aktif birer katılımcısı ve bakım alıcısı olarak kabul edilmektedir. Çocuk sağlığı bağlamında aile merkezli bakım, çocukların aileleriyle bir bütün olarak ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, ailenin

çocuğun yaşamındaki sürekli unsur olduğunu kabul etmekte ve ailenin değerleri ile önceliklerinin çocuğun bakım planında merkezi bir rol oynaması gerektiğini savunmaktadır. Aile merkezli bakım yaklaşımı ile 19. yüzyılda ve 20. yüzyılın ilk yarısında ebeveynler çocuk hastanelerinin koşullarından büyük ölçüde dışlanmışken, zamanla ebeveynlerin kabul edilmesi, varlıklarının desteklenmesi ve bakım sürecine aktif ortaklar olarak dâhil edilmeleri yönünde kademeli bir dönüşüm yaşanmıştır (Carter ve diğ. 2024).

Literatürde, aile merkezli bakımın sağlık bakım maliyetlerini azalttığı, çocuk ve ebeveynlerin kaygı düzeylerini düşürdüğü ve hastanede kalış süresini kısalttığı gösterilmiştir (Çağlar 2019; Kaya ve diğ. 2020; Top ve Çam 2023). Her ne kadar aile merkezli bakım ideal bir model olarak kabul edilse de uygulamada çeşitli güçlüklerle karşılaşıldığı bildirilmektedir. Bu güçlükler arasında; sağlık profesyonellerinin iletişim becerilerindeki eksiklikler, rol ve güç paylaşımına yönelik olumsuz tutumlar, zaman kısıtlılığı ve sistemsel destek eksiklikleri yer almaktadır. Ulusal ve uluslararası çalışmalar, sağlık çalışanlarının çocuklarla çalışmayı ebeveynlerle çalışmaktan daha olumlu bulduklarını da ortaya koymaktadır (Ygge ve diğ. 2006; Coyne 2015; Coyne ve diğ. 2011).

Tüm bu tartışmalar, bakımın merkezine doğrudan çocuğun kendisini yerleştiren çocuk merkezli bakım anlayışının gelişmesine zemin hazırlamıştır. Çocuk merkezli bakım, çocuğu pasif bir bakım alıcısı olarak değil, kendi bakım sürecine aktif katılım gösteren bir özne şeklinde ele alarak hemşirelikte yeni bir paradigma ortaya koymaktadır (Çavuşoğlu 2018).

Çocuk merkezli bakım, özgürleştirici, hak temelli ve katılımcı bir paradigma içinde gelişen; çocukları kendi bakım süreçlerinde aktif birer sosyal aktör olarak kabul eden bir yaklaşımdır. Bu anlayış, Birleşmiş Milletler Çocuk Hakları Sözleşmesi ile çerçevelenen çocuk hakları perspektifini sağlık hizmetlerine yansıtarak, çocukluk kavramına ilişkin toplumsal dönüşümden beslenmektedir. Yeni çocukluk sosyolojisine dayanan bu yaklaşım, çocukların hastalık, engellilik ve bakım süreçlerini yetişkinlerden farklı biçimlerde deneyimlediklerini kabul etmektedir (United Nations, 1989). Çocuk merkezli bakım bir modelden ziyade çocuk sağlığı hizmetlerinin temelini oluşturan bir felsefe olarak, çocukları bakım ve karar alma süreçlerinin merkezine yerleştirmektedir. Bununla birlikte, ebeveynlerin ve ailelerin çocuğun bakımındaki merkezi rolü korunarak, çocuğun en iyi çıkarlarının öncelikli olduğu bir bakım anlayışı benimsenmektedir (Coyne ve diğ. 2018; Ford ve diğ. 2018).

2. HEMŞİRELİKTE PARADİGMATİK DEĞİŞİM: BİYOMEDİKAL MODELDEN İNSANCIL MODELE GEÇİŞ

Her hemşirenin kendi bilgi, değer ve deneyimlerinden oluşan kişisel bir hemşirelik modeli vardır; buna ek olarak hem mesleki modellerden hem de kurum benimsediği uygulama modelinden etkilenecek kendi yaklaşımını şekillendirir. Bu nedenle hemşirelik uygulamalarını bir modele dayandırmak, mesleğin başlangıcından beri süregelen bir durumdur (Pearson ve diğ. 2005).

1980'lerin sonuna kadar hemşirelik eğitimi ve uygulamalarına empirizm ve onun uzantısı olan biyomedikal model hâkim olmuş, bu yaklaşım bakımın teknik bir süreç olarak algılanmasına yol açmıştır (Chan 2002). Yirminci yüzyıl boyunca sağlık bilimlerine yön veren biyomedikal model hem tıp hem de hemşirelik uygulamalarında belirleyici olmuş; dualist ve indirgemeci yapısıyla bireyi fizikokimyasal bir makine olarak ele almıştır. Bu modele göre beden, daha küçük sistem ve bileşenlere bölünmüş; hastalık ise bu parçaların işlevsel bozukluğu olarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, hemşireleri hastaya bütüncül bir varlık olarak bakmak yerine, hastalık ve tanı odaklı düşünmeye yönlendirmiştir (Şanlı ve Platin 2015).

Biyomedikal model kapsamında hemşirelik uygulaması, tanı ve tedaviyi merkeze alan tıbbi süreçlerin teknik bir uzantısı olarak görülmüş; hemşirenin rolü hekim istemlerini yerine getirme ve bakımın teknik yönlerini yönetme ekseninde şekillenmiştir. Bu durum, hemşireliği tedavi ile bakım arasında belirsiz bir konuma taşımış, mesleğin bağımsız yönünün görünürlüğü azaltmıştır. Modelin empirizmle ilişkisi ise hemşirelik eğitimi uzun süre usta-çırak ilişkisi içinde gelişen teknik bir öğretim yapısına yöneltmiştir (McKenna 2005).

Ancak pozitivist yaklaşımın hemşireliğin değerleriyle uyumsuz olması, holistik ve birey merkezli bakımı yeterince yansıtamaması nedeniyle birçok araştırmacı empirizmi eleştirmiştir (Weaver ve Olson 2006). Empirizm, yalnızca bilimsel (empirik) bilgiyi geçerli sayarken hemşirelik uygulaması etik, estetik ve kişisel bilgi gibi başka bilgi türlerine de ihtiyaç duymaktadır. Biyomedikal model hasta gereksinimlerini dikkate alan bir model olmaktan ziyade sağlık hizmeti gereksinimi olan bireylere değil sağlık çalışanlarının yararına hizmet verilmesi anlayışı üzerine kurulmuştur. 20. yüzyılın sonlarına doğru birey, özne, duygu, etik ve estetik kavramlarının önem kazanması, hemşirelik bilimini yorumlayıcı paradigmaya yöneltmiş ve mesleğin insancıl temellerini güçlendirmiştir (Warelow 2013).

Hemşirelerin biyomedikal modelden insancıl (hümanistik) modele geçişi, hemşirelik biliminin felsefi temellerini, değerlerini ve uygulama yöntemlerini yeniden sorguladığı önemli bir paradigma değişimini ifade etmektedir. Bu dönüşüm, hemşireliğin uzun süre hâkim olan empirik (pozitivist) paradigmadan uzaklaşıp yorumlayıcı (yapısalcı/anti-pozitivist) paradigmaya yönelmesiyle gerçekleşmiştir (Takmak 2024).

Hemşireliğin biyomedikal modelden uzaklaşarak benimsediği yorumlayıcı paradigma, hümanistik ve bütüncül temellere dayanmakta; bireyi fiziksel, duygusal, sosyal ve manevi boyutlarıyla ele almaktadır. Yapısalcılığa dayanan bu yaklaşım, karmaşık ve bağlama bağımlı bir gerçeklik anlayışı sunmaktadır. Yorumlayıcı paradigmada araştırma odağı objektif bilgi yerine empatik anlam kurma, bireyin deneyim ve algılarını yorumlama üzerinedir. Bu paradigma, hemşireliğin holizm, bireysellik, otonomi ve öz karar verme gibi değerleriyle tam uyum içerisindedir (Burns ve Peacock 2019).

Bu yaklaşımın klinik uygulamalara yansması, Peplau'nun Kişilerarası İlişkiler Kuramı ve Travelbee'nin insan-insana ilişki modeli gibi teorilerde açıkça görülmektedir.

Peplau'ya göre hemşire-hasta ilişkisi diğer insanların birbiri ile olan ilişkisinden farklıdır. Arkadaş ilişkisi gibi sosyal veya müşteri ilişkisi değildir. Bakım sürecinin temelinde terapötik kişilerarası iletişim bulunmaktadır. Peplau hemşireliği sağlık odaklı bir insan ilişkisi olarak tanımlayarak iletişim ve insanı anlamayı bakımın merkezine koymuştur (McKenna ve diğ. 2019). Travelbee'ye göre hem insan hem hasta hem de hemşire, kendine özgü özellikleri olan ve biricik varlıklardır. Hemşire, sahip olduğu bilgi ve terapötik iletişim becerileri sayesinde hastaya anlamlı bir şekilde yardım edebilir. Travelbee, hemşireliği kişilerarası bir süreç olarak tanımlayarak, hemşire-hasta ilişkisinin rastlantısal karşılaşmayla başlayıp empati, güven ve terapötik etkileşimle derinleştiğini vurgulamaktadır. Hastalık ise bireyin fiziksel, duygusal ve ruhsal olarak deneyimlediği bir süreçtir; hemşirenin değerleri ve deneyimleri, bu süreçte vereceği yardımın niteliğini belirlemektedir (Pektekin 2013).

Thomas Kuhn'un bilimsel gelişmeyi açıklayan “paradigma”, “anomalî”, “kriz” ve “bilimsel devrim” kavramları, hemşirelikte yaşanan dönüşümü kavramsallaştırmak için oldukça uygundur. Kuhn'a göre bilim, doğrusal bir biçimde ilerlemez; aksine belirli bir paradigmanın hâkim olduğu dönemleri, bu paradigmanın açıklayamadığı anomalilerin birikmesi izler ve sonunda paradigma köklü bir değişime uğrar. Bu çerçevede hemşirelikte biyomedikal

modelden insancıl modele geçiş, tam anlamıyla bir Kuhn'cu paradigma dönüşümü niteliği taşımaktadır (Younas ve Parsons 2019).

Kuhn'a göre bir paradigma çökmeye başladığında, önce anomaliler, yani mevcut modelin açıklayamadığı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Hemşirelikte biyomedikal paradigmanın anomalileri (holizmi açıklayamaması, hemşirelik bakımının teknikleşmesi, empirik bilginin yetersiz kalması, hasta-hemşire ilişkisini açıklayamaması, pozitivistin değerleri ihmal etmesi) ciddi bir kuramsal gerilim ortaya çıkarmış ve mevcut paradigma sorgulanmaya başlanmıştır. Bu süreç, hemşireliğin kendi ontolojik ve epistemolojik temellerini yeniden sorguladığı bir paradigma bunalımı yaratmıştır. Böylece biyomedikal paradigma yerini insancıl modele bırakmıştır. Kuhn'un ifadesiyle bu bir paradigma devrimidir; çünkü gerçekliğe bakış biçimi, bilgi üretme yolları ve mesleki değerler köklü biçimde değişmiştir. Böylece hemşirelik, terapötik iletişim, empati, sezgi, kültürel duyarlılık ve maneviyat gibi kavramlara daha güçlü bir vurgu yapmaya başlamıştır (Wall ve Carraro 2009).

3. SONUÇ

Hemşirelikte biyomedikal modelden insancıl paradigma yönelimi, bireyi yalnızca biyolojik bir organizma olarak değil; duyguları, deneyimleri, değerleri ve sosyal çevresiyle bir bütün olarak ele alma anlayışını güçlendirmiştir. Bu dönüşümün pediatri alanındaki en önemli güncel yansıması çocuk merkezli yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır.

Biyomedikal paradigma çocukları hastalık üzerinden tanımlarken; çocuk merkezli yaklaşım, insancıl paradigmanın varsayımlarını temel alarak çocuğu aktif özne, karar sürecine katılan birey, kendi deneyimlerinin anlamlandırıcısı ve ihtiyaçları benzersiz bir varlık olarak ele almaktadır (Çavuşoğsu 2018).

Dolayısıyla çocuk merkezli bakım, hemşirelikte yaşanan paradigma değişiminin yalnızca bir sonucu değil; aynı zamanda bu değişimi sürdüren ve günümüz sağlık hizmetlerinde yeniden üreten dinamik bir yapı olarak değerlendirilebilir. Çocuğun sesini duyuran, deneyimlerini merkeze alan, katılım hakkını güçlendiren ve bakım sürecini bütüncül bir yaklaşımla ele alan bu model, hemşireliğin insancıl ve çoklu paradigmaya dayalı çağdaş yönelimini klinik uygulamaya taşıyan önemli bir felsefi temsildir (Çavuşoğsu 2018; Coyne ve diğ. 2018).

KAYNAKLAR

- Burns M, Peacock S. (2019). Interpretive phenomenological methodologists in nursing: A critical analysis and comparison. *Nursing Inquiry* 26(2), e12280. doi:10.1111/nin.12280.
- Carter B, Young S, Ford K, Campbell S. (2024). The Concept of Child-Centred Care in Healthcare: A Scoping Review. *Pediatric Reports* 16(1), 114-134. <https://doi.org/10.3390/pediatric16010012>
- Chan EA. (2002). A lived experience of dualism between the natural and human science paradigms in nursing. *Journal of Advanced Nursing* 40(6), 739-746. doi:10.1046/j.1365-2648.2002.02433.x.
- Coyne I. (2015). Families and health-care professionals' perspectives and expectations of family-centred care: hidden expectations and unclear roles. *Health Expect* 18(5):796-808. doi: 10.1111/hex.12104. Epub 2013 Jun 26. PMID: 23800327; PMCID: PMC5060842.
- Coyne I, O'Neill C, Costello T, O'Shea R, Murphy M. (2011). Irish nurses' views and understanding of family centred care. *Journal of Advanced Nursing* 67: 2561–2573.
- Coyne I, Holmström I, Söderbäck M. (2018). Centeredness in healthcare: a concept synthesis of family-centered care, person-centered care and child-centered care. *Journal of pediatric nursing* 42, 45-56.

- Çavuşoğlu H. (2018). Pediatri Kliniklerinde Aile Merkezli Bakımda Yaşanan Sorunlar ve Yeni Yaklaşımlar. *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences* 10(4).
- Çağlar S. (2019). Yenidoğan yoğun bakım ünitesinde aile merkezli bakım: Anne görüşleri. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi* 28(2), 120-126.
- Ford K, Dickinson A, Water T, Campbell S, Bray L, Carter B. (2018). Child centred care: challenging assumptions and repositioning children and young people. *Journal of pediatric nursing* 43, e39-e43.
- Kaya S, Karayağız G, Manav G. (2020). Türkiye’de pediatri kliniklerinde yapılan ve aile merkezli bakım anlayışını kapsayan çalışmaların gözden geçirilmesi. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi* 9(3), 205-214.
- McKenna H. (2005). The medical model. In *Nursing theories and models* (pp. 85-91). London: Routledge.
- McKenna HP, Panjkihar M, Murphy F. (2019). Hemşirelik kuramları modelleri ve uygulama esasları (Çev. Ş.E. Alpar ve A.N. Bahçecik). Akademişyen kitapevi. Ankara
- Pearson A, Vaughan B, Fitzgerald M. (2005). The traditional model for nursing practice. In *Nursing models for practice* (3rd Ed., pp. 43-55). London: Butterworth Heinemann.
- Şanlı D, Platin N. (2015). The effect of biomedical model on nursing. *International Journal of Human Sciences* 12(2), 897-908.
- Takmak Ş. (2024). Hemşirelik Biliminde Paradigma Değişimleri ve Çoklu Paradigma Kullanımı. *Hemşirelik Bilimi Dergisi* 7(2), 225-235.
- Top FÜ, Çam HH. (2023). Ebeveynlerin Aile Merkezli Bakım Algısı ve Hastane Anksiyete-Depresyon Düzeyi Arasındaki İlişki. *Çocuk Dergisi* 23(1), 42-49.
- United Nations. (1989). *Convention on the Rights of the Child*. Treaty Series, 1577, 3. <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-child>
- Ygge BM, Lindholm C, Arnetz J. (2006). Hospital staff perceptions of parental involvement in paediatric hospital care. *Journal of Advanced Nursing* 53: 534–542.
- Younas A, Parsons K. (2019). Implications for paradigm shift in nursing: A critical analysis of Thomas Kuhn's revolutionary science and its relevance to nursing. *Advances in Nursing Science* 42(3), 243-254.
- Wall ML, Carraro TE. (2009). Kuhn's revolutionary theory and its influence on the construction of nursing knowledge. *Revista Latino-Americana de Enfermagem* 17, 417-422.
- Warelow PJ. (2013). Changing philosophies: a paradigmatic nursing shift from Nightingale. *The Australian Journal of Advanced Nursing* 31(1), 36–45.
- Weaver K, Olson JK. (2006). Understanding paradigms used for nursing research. *Journal of Advanced Nursing* 53(4), 459–69. doi:10.1111/j.1365-2648.2006.03740.x

THE ROLE OF BIOCHEMICAL BIOMARKERS IN THE ASSESSMENT OF WOUND HEALING

Dr. Gülistan UYMAZ

Ardahan University Vocational School of Health Services, Ardahan

ORCHID: 0000-0002-1254-2144

Dr. Yahya ALTINKAYNAK

Ardahan University Vocational School of Health Services, Ardahan

ORCHID: 0000-0003-2060-4576

ABSTRACT

Wound healing is a complex biological process in which the phases of hemostasis, inflammation, proliferation, and remodeling progress in an interconnected and overlapping manner. Although clinical indicators such as wound size, exudate, granulation tissue, and epithelialization are widely used to assess healing, they may be insufficient to reflect cellular and molecular changes at an early stage. Therefore, biochemical markers have emerged as an important approach for the objective monitoring of wound healing. C-reactive protein, interleukin-6, interleukin-1 beta, and tumor necrosis factor-alpha are considered potential biomarkers of the inflammatory response, whereas vascular endothelial growth factor and transforming growth factor-beta may serve as potential biomarkers of angiogenesis and tissue repair. Matrix metalloproteinases and tissue inhibitors of metalloproteinases provide information on extracellular matrix remodeling, while hydroxyproline reflects collagen metabolism. Indicators such as malondialdehyde, superoxide dismutase, catalase, and glutathione peroxidase contribute to the assessment of oxidative stress and antioxidant defense. In addition, metabolic and nutritional parameters, including glucose, HbA1c, albumin, and prealbumin, may influence the healing process. Furthermore, proteomic, metabolomic, and transcriptomic approaches may facilitate the identification of molecular profiles specific to healing and non-healing wounds. These advances may enable patient-specific risk assessment and the personalization of wound care according to individual biomarker profiles. However, current evidence indicates that assessing wound healing on the basis of a single biochemical parameter is insufficient. Integrating biochemical markers with clinical wound assessment may provide a more comprehensive approach to monitoring the healing process. In particular, the development of biomarkers that can be measured noninvasively or minimally invasively in wound exudate, together with biosensor technologies, may substantially contribute to more objective and personalized wound care in the future.

Keywords: Wound healing, Biochemical markers, Growth factors, Oxidative stress, Nursing

YARA İYİLEŞMESİNİN İZLENMESİNDE BİYOKİMYASAL BELİRTEÇLERİN ROLÜ

ÖZET

Yara iyileşmesi; hemostaz, inflamasyon, proliferasyon ve yeniden yapılanma evrelerinin birbiriyle ilişkili ve örtüşen biçimde ilerlediği karmaşık bir biyolojik süreçtir. Yara boyutu, eksüda, granülasyon dokusu ve epitelizasyon gibi klinik göstergeler iyileşmenin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, hücresel ve moleküler değişiklikleri erken dönemde yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle biyokimyasal belirteçler, yara

iyileşmesinin objektif olarak izlenmesinde önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. C-reaktif protein, interlökin-6, interlökin-1 beta ve tümör nekroz faktörü-alfa inflamatuvar yanıtın; vasküler endotelial büyüme faktörü ve transforme edici büyüme faktörü-beta anjiyogenez ve doku onarımının değerlendirilmesinde potansiyel biyobelirteçler olarak değerlendirilmektedir. Matriks metalloproteinazları ve doku metalloproteinaz inhibitörleri ekstraselüler matriksin yeniden yapılanması, hidroksiprolin ise kollajen metabolizması hakkında bilgi sağlamaktadır. Malondialdehit, süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi göstergeler oksidatif stres ve antioksidan savunmanın değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca glukoz, HbA1c, albümin ve prealbümin gibi metabolik ve beslenmeyle ilişkili parametreler de iyileşme sürecini etkileyebilmektedir. Ayrıca proteomik, metabolomik ve transkriptomik yaklaşımların kullanılması, iyileşen ve iyileşmeyen yaralara özgü moleküler profillerin ortaya çıkarılmasına katkı sağlayabilir. Bu gelişmeler sonucunda hastaya özgü risk değerlendirmesi yapılması ve yara bakımının biyobelirteç profiline göre kişiselleştirilmesi mümkün olabilir. Ancak mevcut veriler, yara iyileşmesinin tek bir biyokimyasal parametre üzerinden değerlendirilmesinin yeterli olmadığını göstermektedir. Klinik yara değerlendirmesinin biyokimyasal göstergelerle birlikte ele alınması daha kapsamlı bir izlem sağlayabilir. Özellikle yara eksüdasından noninvaziv veya minimal invaziv biçimde ölçülebilen biyobelirteçlerin ve biyosensör teknolojilerinin geliştirilmesi, gelecekte yara bakımının objektif ve kişiselleştirilmiş biçimde yürütülmesine önemli katkılar sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Yara İyileşmesi, Biyokimyasal Belirteçler, Büyüme Faktörleri, Oksidatif Stres, Hemşirelik

1. INTRODUCTION

The skin is a large organ that provides the primary barrier against mechanical trauma, microorganisms, ultraviolet radiation, fluid loss, and thermal changes, while also performing immunological, neuroendocrine, and sensory functions. Therefore, loss of skin integrity is not merely a local tissue injury; it can lead to systemic and psychosocial consequences such as infection, fluid and heat loss, pain, restricted mobility, sleep disturbance, functional impairment, social isolation, and reduced quality of life (Rodrigues et al., 2019; Sen et al., 2009). Chronic wounds are particularly associated with diabetes, peripheral arterial disease, venous insufficiency, pressure, neuropathy, aging, and immune/metabolic disorders. In these wounds, failure of the healing process to progress past a given stage can produce a clinical course characterized by recurrent infections, hospitalizations, surgical interventions, and even limb loss (Falanga et al., 2022).

The burden of chronic wounds cannot be measured solely by the number of dressings required after wound closure. Patient pain, loss of activities of daily living, caregiver burden, loss of work capacity, long-term health service utilization, and management of comorbidities must be considered together. Systematic studies examining the economic and human burden of chronic wounds show that, in addition to health system costs, depression, social isolation, and functional dependency are important outcomes (Olsson et al., 2019). Economic analyses based on United States data report that direct medical costs of nonhealing chronic wounds are extremely high and that delays in diagnosis, follow-up, and treatment further increase this burden (Nussbaum et al., 2018).

Although clinical assessment is indispensable, it cannot capture all dimensions of wound biology. The first limitation is the observer dependence of measurements. Where the wound margin begins, how the epithelialized area is assessed, how granulation tissue is distinguished

from fibrin/necrosis, and how exudate volume is classified may vary among clinicians. In a study comparing artificial intelligence–based digital wound measurement tools with expert assessments, AI measurements performed similarly to human measurements; however, experts’ evaluations of wound margin and percentage granulation also varied substantially among themselves (Howell et al., 2021). The second limitation is that clinical signs often appear late. Marked wound expansion or contraction is noticed after cellular-level changes have occurred, whereas biological events such as delayed resolution of inflammation, increased MMP activity, proteolytic degradation of growth factors, or local hypoxia may begin days or weeks earlier. The third limitation is wound-bed heterogeneity: one region of the same wound may show active granulation while another contains necrosis, fibrin, or infection. A single-area measurement does not reflect these regional differences. The fourth limitation is the lack of standardized clinical endpoints across treatments and wound types. “Healing” can be defined as complete epithelialization, a specified percentage reduction in wound area, cessation of exudate, suitability for surgical closure, or readiness of a stump after amputation; differing definitions complicate comparison of biomarker studies. Problems in reporting healing rates in chronic wound research are related to differences in patient selection, follow-up duration, wound etiology, loss to follow-up, and endpoint definitions. The fifth limitation is the intermittent temporal nature of clinical assessment: patients are usually seen weekly or less frequently, whereas cytokines, pH, oxygen, lactate, and reactive oxygen species in wound fluid can change within hours. The wound appearance at the next clinic visit may not reflect inflammatory fluctuations that occurred in preceding days. Therefore, serial biochemical measurements are not intended to replace clinical monitoring but can complement it by providing greater biological temporal resolution (Howell et al., 2021; Fife et al., 2018).

A biomarker can be considered a measurable characteristic that indicates a normal biological process, a pathological process, or a biological response to therapy. In wound healing, biomarkers can be grouped functionally into three categories: predictive markers, which forecast the likelihood of healing or treatment response; indicator markers, which signal the presence of a specific healing process; and diagnostic markers, which more directly support a particular pathological or healing state. These classes are not absolutely distinct, and the same molecule may serve different roles in different contexts (Goto & Saligan, 2020).

The fundamental rationale for biomarker use is to reduce the temporal gap between clinical appearance and molecular state. For example, even if wound area remains unchanged initially, a high MMP-9/TIMP-1 ratio in wound fluid may warn of excessive proteolysis and reduced healing potential. Similarly, persistently elevated IL-1 β , IL-6, and TNF- α levels indicate unresolved inflammation, whereas appropriately timed changes in TGF- β , PDGF, or collagen propeptides suggest progression into the reparative phase (Goto & Saligan, 2020; Lindley et al., 2016).

2. INFLAMMATORY BIOMARKERS IN WOUND HEALING

IL-1 β and IL-1 α : These cytokines respond early to tissue injury and can be produced by keratinocytes, macrophages, neutrophils, and other cells. Through NF- κ B and inflammasome activation they influence inflammatory gene expression, leukocyte migration, and protease production. An early, limited increase may be physiological; however, their persistent elevation in chronic wounds can contribute to a proteolytic environment and ongoing inflammatory damage (Burian et al., 2022).

IL-6: IL-6 is a major regulator of the acute-phase response, stimulating hepatic CRP synthesis and locally affecting leukocyte recruitment as well as keratinocyte and fibroblast responses.

Persistently high IL-6 in wound fluid or serum may indicate infection, failure of inflammation resolution, or systemic comorbidity. Nevertheless, IL-6 is not solely detrimental; depending on timing and concentration it can also promote proliferation and tissue repair (Burian et al., 2022). IL-8: IL-8 is an important chemokine regulating neutrophil chemotaxis. Elevated IL-8 levels are associated with neutrophil infiltration and chronic inflammation. IL-10: IL-10 is a principal antiinflammatory cytokine that promotes macrophage acquisition of reparative phenotypes and reduces proinflammatory cytokine production. However, an isolated elevation of IL-10 does not necessarily indicate completed healing; high IL-10 can represent a compensatory response to ongoing inflammation. Thus, ratios or serial changes between proinflammatory and resolution-supporting markers may be more informative than single-molecule measurements (Burian et al., 2022)..

3. GROWTH FACTORS AND TISSUE REPAIR BIOMARKERS

Growth factors are paracrine and autocrine signals that regulate cell migration, proliferation, differentiation, survival, and matrix production. In wound healing, growth factors do not act in isolation but function together with cytokines, integrins, the ECM, oxygen tension, mechanical forces, and cell–cell interactions. Both local concentration and receptor responsiveness are important; in chronic wounds, reduced ligand availability may be accompanied by impaired receptor signaling and proteolytic degradation (Barrientos et al., 2008). Measurement of growth factors in wound fluid or tissue can provide clues as to whether the reparative phase is biologically active. Healing wounds typically exhibit PDGF, FGF-2, TGF- β , collagen propeptides, and appropriately timed VEGF changes. Because growth factor levels are phase-dependent, the significance of high or low concentrations depends on wound chronicity: low TGF- β during early inflammation but a transient rise during repair is expected, whereas chronic elevation of the same molecule may reflect a different pathophysiology. Clinical use of growth factors encompasses two approaches: using growth factors as biomarkers to determine what biological support the wound bed requires, and applying exogenous factors such as PDGF or FGF to accelerate healing. Although growth factor–based therapies have shown benefit in some wounds, results are heterogeneous depending on patient selection, wound etiology, infection control, dosing, and the proteolytic environment (Barrientos et al., 2014).

4. THE ROLE OF OXIDATIVE STRESS AND ANTIOXIDANT SYSTEMS IN WOUND HEALING

Oxidative stress develops when oxidant production exceeds antioxidant capacity. Excessive ROS can cause lipid peroxidation, protein oxidation, DNA damage, mitochondrial dysfunction, membrane injury, and modification of ECM proteins. In diabetes, hyperglycemia increases ROS generation via the polyol, hexosamine, protein kinase C, and AGE-RAGE pathways. Chronic hypoxia–reperfusion, neutrophil activation, mitochondrial dysfunction, and inflammation further exacerbate the burden. Malondialdehyde (MDA), a terminal product of lipid peroxidation, is commonly used as an indicator of membrane damage and oxidative load. Protein carbonyls, 3-nitrotyrosine, and 4-hydroxynonenal reflect protein/lipid oxidation. Hydrogen peroxide, superoxide, and total ROS can be measured in wound fluid or experimental tissue samples, but due to the short-lived nature of these species and the sensitivity of sample handling, method standardization is challenging. (Deng et al., 2021).

In the antioxidant system, superoxide dismutase (SOD) converts superoxide to hydrogen peroxide; catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPx) reduce hydrogen peroxide to water. Glutathione (GSH), glutathione reductase, peroxiredoxins, thioredoxin, and the Nrf2-KEAP1 axis constitute other components of cellular defense. Nutrients such as vitamin E, vitamin C,

vitamin A, selenium, and zinc can support the structure or function of these systems (Deng et al., 2021).

Oxidative stress markers, particularly in diabetic and ischemic wounds, can complement the biological layer of inflammation and metabolic stress. However, significant preanalytical issues affect sampling and measurement of these markers: ROS samples are influenced by light, temperature, oxygen, metal ions, and sample wait time; antioxidant enzyme activity differs between intracellular and extracellular fractions; and serum levels may not reflect local wound tissue. Therefore, measurement protocols, sample preservation conditions, and reference ranges must be clearly defined.

5. BIOCHEMICAL BIOMARKERS RELATED TO NUTRITIONAL STATUS

Albumin is frequently measured for chronic malnutrition assessment because of its long half-life, hepatic synthesis, and intravascular/extravascular distribution. Low albumin may be associated with poor general condition, increased complication risk, and pressure ulcer development. However, albumin is a negative acute-phase protein and is affected by inflammation, infection, liver disease, renal protein loss, fluid overload, and capillary leak; therefore, low albumin should not be interpreted in isolation as “insufficient protein intake.” Prealbumin/transferrin, with a shorter half-life, responds more rapidly to nutritional changes than albumin but is also influenced by inflammation, renal function, hepatic synthesis, and hormonal status. Transferrin, besides iron transport, is a negative acute-phase reactant; iron deficiency, inflammation, and liver disease alter its levels. Retinol-binding protein may change more rapidly but is affected by renal function and vitamin A metabolism. These serum proteins provide helpful information for nutritional screening and prognosis, but no laboratory test alone can definitively characterize an individual’s nutritional status (Saghaleini et al., 2018)

Zinc is required for DNA/protein synthesis, cell proliferation, immunity, and the function of numerous enzymes. Zinc loss in wound exudate and systemic deficiency may be important, particularly in large or long-standing wounds. However, administering high-dose zinc or other micronutrients without evidence of deficiency can cause issues with copper metabolism, drug interactions, and toxicity. Arginine serves as a substrate for collagen synthesis and nitric oxide production, while glutamine provides metabolic fuel for enterocytes, immune cells, and fibroblasts. The clinical benefit of these amino acids varies by patient subgroup and formulation; stronger studies linking biomarker levels to intervention response are needed (Molnar et al., 2014).

6. THE NURSE’S ROLE IN MONITORING WOUND HEALING WITH BIOCHEMICAL BIOMARKERS

In wound care, nurses bear key responsibilities for systematic wound assessment, monitoring the healing process, implementing care interventions, early detection of complications, patient education, and maintaining multidisciplinary care. Effective wound assessment requires not only recording the current appearance but also tracking changes over time using standardized, reproducible methods. A systematic review of tools used for chronic wound assessment reported that standardized wound assessment contributes to more objective monitoring of wound status and trends toward healing or deterioration (Smet et al., 2021). Thus, in nursing care it is important that wound assessment be systematic, repeatable, and based as much as possible on objective data.

Traditional wound assessment relies on evaluation of clinical parameters such as wound size, depth, tissue characteristics in the wound bed, granulation, epithelialization, exudate, wound edges, surrounding skin, and signs of infection. However, visual assessment and observation-

based measurements may vary between assessors. Smet and colleagues (2021) examined the measurement properties of assessment tools used in chronic wounds and emphasized the importance of standardizing clinical wound monitoring; Mota et al. (2024) noted that classic visual assessments are prone to interobserver variability and that biomarkers can provide more quantitative information on wound healing, inflammation, infection, and tissue regeneration. Therefore, the primary contribution of biochemical biomarkers to nursing care is not to replace clinical assessment but to provide additional biological information that complements clinical findings. For example, inflammatory mediators, proteases, and other molecules measurable in wound fluid can aid evaluation of changes in the wound microenvironment. A systematic review of wound-fluid biomarkers in diabetes-related foot ulcers found that various molecular parameters in wound fluid hold potential for assessing current wound status and future healing, but evidence is not yet sufficiently standardized for routine clinical use (Longfield et al., 2023).

7. CONCLUSION

Wound healing is the outcome of molecular and cellular events that begin before changes are visible clinically. Reduction in wound area, increased granulation tissue, decreased exudate, and epithelialization are clinically necessary and valuable indicators. However, these indicators do not always reflect early and objectively the timing of inflammation resolution, disruption of proteolytic balance, local hypoxia, growth factor deficiency, or the degree of metabolic stress. Biochemical biomarkers can help fill this gap.

REFERENCES

- Barrientos, S., Stojadinovic, O., Golinko, M.S., Brem, H. and Tomic-Canic, M. (2008), Perspective Article: Growth factors and cytokines in wound healing. *Wound Repair and Regeneration*, 16: 585-601. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2008.00410.x>
- Burian, E. A., Sabah, L., Karlsmark, T., Kirketerp-Møller, K., Moffatt, C. J., Thyssen, J. P., & Ågren, M. S. (2022). Cytokines and venous leg ulcer healing—A systematic review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(12), 6526. <https://doi.org/10.3390/ijms23126526>
- Deng, L., Du, C., Song, P., Chen, T., Rui, S., Armstrong, D. G., & Deng, W. (2021). The role of oxidative stress and antioxidants in diabetic wound healing. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 8852759. <https://doi.org/10.1155/2021/8852759>
- Falanga, V., Isseroff, R. R., Soulika, A. M., Romanelli, M., Margolis, D., Kapp, S., Granick, M., & Harding, K. (2022). Chronic wounds. *Nature Reviews Disease Primers*, 8, 50. <https://doi.org/10.1038/s41572-022-00377-3>
- Fife, C. E., Eckert, K. A., & Carter, M. J. (2018). Publicly reported wound healing rates: The fantasy and the reality. *Advances in Wound Care*, 7(3), 77–94. <https://doi.org/10.1089/wound.2017.0743>
- Goto, T., & Saligan, L. N. (2020). Wound pain and wound healing biomarkers from wound exudate: A scoping review. *Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing*, 47(6), 559–568. <https://doi.org/10.1097/WON.0000000000000703>
- Howell, R. S., Liu, H. H., Khan, A. A., Woods, J. S., Lin, L. J., Saxena, M., Saxena, H., Castellano, M., Petrone, P., Slone, E., Chiu, E. S., Gillette, B. M., & Gorenstein, S. A. (2021). Development of a method for clinical evaluation of artificial intelligence–based digital wound assessment tools. *JAMA Network Open*, 4(5), e217234. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.7234>

- Lindley, L. E., Stojadinovic, O., Pastar, I., & Tomic-Canic, M. (2016). Biology and biomarkers for wound healing. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 138(3 Suppl), 18S–28S. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000002682>
- Longfield, M. S. S., Lourdesamy, J., Min, D., & Twigg, S. M. (2023). Do diabetes-related foot ulcer wound fluid measures have clinical utility as biomarkers for healing? A systematic review. *Journal of Wound Care*, 32(Sup4a), xlvii–lxii. <https://doi.org/10.12968/jowc.2023.32.Sup4a.xlvii>
- Molnar, J. A., Underdown, M. J., & Clark, W. A. (2014). Nutrition and chronic wounds. *Advances in Wound Care*, 3(11), 663–681. <https://doi.org/10.1089/wound.2014.0530>
- Mota, F. A. R., Passos, M. L. C., Santos, J. L. M., & Saraiva, M. L. M. F. S. (2024). Comparative analysis of electrochemical and optical sensors for detection of chronic wounds biomarkers: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 251, 116095. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2024.116095>
- Nussbaum, S. R., Carter, M. J., Fife, C. E., Davision-Kotler, E., Gross, C., & Umble, K. (2018). An economic evaluation of the impact, cost, and Medicare policy implications of chronic nonhealing wounds. *Value in Health*, 21(1), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.07.007>
- Olsson, M., Järbrink, K., Divakar, U., Bajpai, R., Upton, Z., Schmidtchen, A., & Car, J. (2019). The humanistic and economic burden of chronic wounds: A systematic review. *Wound Repair and Regeneration*, 27(1), 114–125. <https://doi.org/10.1111/wrr.12683>
- Rodrigues, M., Kosaric, N., Bonham, C. A., & Gurtner, G. C. (2018). Wound healing: A cellular perspective. *Physiological Reviews*, 21:99(1), 665–706. <https://doi.org/10.1152/physrev.00067.2017>
- Saghaleini, S. H., Dehghan, K., Shadvar, K., Sanaie, S., Mahmoodpoor, A., & Ostadi, Z. (2018). Pressure ulcer and nutrition. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, 22(4), 283–289. https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM_277_17
- Sen, C.K., Gordillo, G.M., Roy, S., Kirsner, R., Lambert, L., Hunt, T.K., Gottrup, F., Gurtner, G.C. and Longaker, M.T. (2009), Human skin wounds: A major and snowballing threat to public health and the economy. *Wound Repair and Regeneration*, 17: 763-771. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2009.00543.x>
- Smet, S., Probst, S., Holloway, S., Fourie, A., Beele, H., & Beeckman, D. (2021). The measurement properties of assessment tools for chronic wounds: A systematic review. *International Journal of Nursing Studies*, 121, 103998. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103998>

METABOLIC INDICATORS AND CLINICAL IMPLICATIONS IN POSTOPERATIVE MALNUTRITION

Dr. Gülistan UYMAZ

Ardahan University Vocational School of Health Services, Ardahan

ORCHID: 0000-0002-1254-2144

Dr. Yahya ALTINKAYNAK

Ardahan University Vocational School of Health Services, Ardahan

ORCHID: 0000-0003-2060-4576

ABSTRACT

Postoperative malnutrition is a multifactorial clinical condition that develops as a result of surgical stress, inflammation, insulin resistance, protein catabolism, immobilization, and inadequate nutrient intake. It may increase the risk of complications, infection, prolonged hospitalization, and mortality. This review examined current guidelines, systematic reviews, meta-analyses, and observational studies published between 2021 and 2025. Anthropometric measurements, muscle mass and sarcopenia, serum proteins, inflammatory markers, glycemic parameters, and electrolyte changes were evaluated. Low levels of prealbumin, transferrin, and IGF-1 were found to be associated with postoperative complications. However, because albumin and prealbumin are affected by inflammation, they cannot be used alone to diagnose malnutrition. Elevated C-reactive protein-to-albumin and neutrophil-to-lymphocyte ratios have prognostic value for inflammatory burden, severe complications, and prolonged hospitalization. Hyperglycemia may increase the risk of infection and delayed wound healing, even in patients without diabetes. The GLIM criteria assess the phenotypic and etiologic components of malnutrition together. Metabolic indicators should be used as dynamic tools that complement clinical assessment and should be interpreted alongside early nutritional support, glycemic control, electrolyte monitoring, mobilization, and multidisciplinary rehabilitation. Accordingly, it was concluded that these indicators do not have sufficient diagnostic accuracy when used alone and should be evaluated together with clinical assessment, nutrient intake, weight loss, muscle function, inflammation level, and serial measurements. This approach supports the early recognition of complications and functional recovery in patients. The aim of this study is to evaluate the metabolic indicators used in postoperative malnutrition and their association with clinical outcomes in accordance with the current literature.

Keywords: Postoperative Malnutrition, Surgical Stress, İnsulin Resistance, Hyperglycemia

POSTOPERATİF MALNUTRİSYONDA METABOLİK GÖSTERGELER VE KLİNİK YANSIMALARI

ÖZET

Postoperatif malnütrisyon; cerrahi stres, inflamasyon, insülin direnci, protein katabolizması, immobilizasyon ve yetersiz besin alımı sonucunda gelişen çok boyutlu bir klinik durumdur. Komplikasyon, enfeksiyon, uzamış hastanede kalış ve mortalite riskini artırabilir. Bu derlemede 2021–2025 yılları arasında yayımlanan güncel kılavuzlar, sistematik derlemeler, meta-analizler ve gözlemsel çalışmalar incelenmiştir. Antropometrik ölçümler, kas kütlesi ve sarkopeni, serum proteinleri, inflamatuvar göstergeler, glisemik parametreler ve elektrolit değişimleri değerlendirilmiştir. Düşük prealbümin, transferrin ve IGF-1 düzeylerinin postoperatif

komplikasyonlarla ilişkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte albümin ve prealbümin inflamasyondan etkilendiğinden tek başına beslenme tanısı koydurmamaktadır. Yüksek CRP/albümin oranı ve nötrofil/lenfosit oranı inflamatuvar yük, ağır komplikasyon ve uzamış yatış açısından prognostik değer taşımaktadır. Hiperglisemi, diyabeti olmayan hastalarda dahi enfeksiyon ve yara iyileşmesinde gecikme riskini artırabilmektedir. GLIM kriterleri, malnütrisyondan fenotipik ve etiyolojik bileşenlerini birlikte değerlendirmektedir. Metabolik göstergeler klinik değerlendirmeyi tamamlayan dinamik araçlar olarak kullanılmalı; erken beslenme, glisemik kontrol, elektrolit izlemi, mobilizasyon ve multidisipliner rehabilitasyonla birlikte yorumlanmalıdır. Bu kapsamda, göstergelerin tek başına tanısal yeterliliği bulunmadığı; klinik değerlendirme, besin alımı, kilo kaybı, kas fonksiyonu, inflamasyon düzeyi ve seri ölçümlerle birlikte ele alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu yaklaşım, komplikasyonların erken tanınmasını ve hastaların işlevsel iyileşmesinin desteklenmesini sağlar. Bu çalışmanın amacı, postoperatif malnütrisyonda kullanılan metabolik göstergeleri ve bu göstergelerin klinik sonuçlarla ilişkisini güncel literatür doğrultusunda değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Postoperatif Malnütrisyon, Cerrahi Stres, İnsülin Direnci, Hiperglisemi

1. INTRODUCTION

Malnutrition is a nutritional disorder that arises when the body does not receive or cannot utilize sufficient energy, protein, or other nutrients, or when disease-related metabolic processes prevent these nutrients from sustaining their biological functions. In the surgical patient this condition may be present preoperatively, deepen with the stress response induced by surgery, or develop later due to inadequate intake and complications during the hospital stay (Cederholm et al., 2019; Gazouli et al., 2024).

Postoperative malnutrition is particularly evident after gastrointestinal, hepatobiliary, pancreatic, colorectal, head and neck, and oncologic surgeries, but it can also occur in trauma, cardiac, orthopedic and emergency surgical patients who require intensive care. Preexisting malnutrition, combined with the catabolic burden of major surgery, becomes a modifiable perioperative risk factor that increases the risk of complications, mortality, length of hospital stay and readmission (Weimann et al., 2025; Williams et al., 2019). An important clinical point is that malnutrition is not synonymous with a low body mass index. Edema, ascites, fluid resuscitation, obesity or sarcopenic obesity can mask true muscle and fat loss in body weight; therefore a patient with normal or high BMI may still be at high nutritional risk due to low muscle reserves, involuntary weight loss and inflammation (Cederholm et al., 2019; Pipek et al., 2020).

2. SURGICAL STRESS

Surgery activates neuroendocrine, immune and metabolic systems via tissue injury and pain. Increases in catecholamines, cortisol, glucagon and growth hormone enhance hepatic glucose production, lipolysis and protein breakdown while reducing insulin-mediated glucose utilization in peripheral tissues. When short-lived and controlled, this response supplies substrates necessary for wound healing and immune defense; however, if prolonged or if baseline nutritional reserves are inadequate, muscle loss and negative protein balance occur (Gillis & Carli, 2015; Weimann et al., 2025). One important consequence of surgical stress is the development of transient resistance to insulin's normal anabolic effects. With insulin resistance, glucose uptake into muscle and adipose tissue falls, gluconeogenesis and

glycogenolysis continue, blood glucose rises, and amino acids are mobilized from muscle for energy production and acute phase protein synthesis (Soop et al., 2001; Duggan et al., 2017). During the postoperative acute phase response, hepatic synthesis of proteins related to immunity and wound healing increases while muscle protein synthesis can be suppressed and proteolysis accelerated. As a result, nitrogen excretion increases, a negative nitrogen balance occurs, and fat-free mass may decline rapidly, particularly in older patients, those with cancer, high inflammation, or prolonged fasting (Gazouli et al., 2024; Williams et al., 2019). The cytokine response triggered by tissue injury alters vascular permeability and fluid distribution; clinically this may present as sodium and water retention, edema, hemodilution and a transient increase in body weight. This makes true fat and muscle loss difficult to detect by weight alone and necessitates interpreting weight trends alongside edema, daily fluid balance and diuresis (Gazouli et al., 2024; Weimann et al., 2021). When inflammation is prolonged, hyperglycemia, tachycardia, hypertension, immune dysfunction and ongoing proteolysis interact to create a catabolic vicious cycle. Clinically this manifests as further reduction in oral intake, loss of muscle strength, delayed mobilization, susceptibility to infection and prolonged hospital stay (Cederholm et al., 2019; Gazouli et al., 2024).

3. DIAGNOSTIC FRAMEWORK

The Global Leadership Initiative on Malnutrition (GLIM) addresses malnutrition diagnosis in adults using a two-step model. In the first step, nutritional risk is screened with a validated tool such as NRS-2002, MUST, MNA-SF, SGA or the surgery-specific PONS; in the second step malnutrition is diagnosed, severity is graded, and underlying causes are identified (Cederholm et al., 2019; Wischmeyer et al., 2018). A screening tool is not a diagnostic instrument; its purpose is to identify early those patients who require more detailed assessment. In surgical wards, linking screening results to automatic notification of the nutrition support team, dietitian assessment and a plan for serial monitoring is more valuable than merely producing a score (Weimann et al., 2025; Gazouli et al., 2024).

For a GLIM diagnosis at least one phenotypic and at least one etiologic criterion must be present. Phenotypic criteria are involuntary weight loss, low body mass index and reduced muscle mass; etiologic criteria are reduced nutrient intake or absorption and disease burden or inflammation (Cederholm et al., 2019). The strength of GLIM is that it defines malnutrition not only by “thinness” but by the combination of disease/inflammation and impaired nutrient intake. However, variability in methods and thresholds for muscle mass measurements between centers, the need for clinical judgment about the degree of inflammation in the acute surgical setting, and the masking effect of fluid accumulation on phenotypic criteria require careful application in diagnosis (Cederholm et al., 2019; Jensen et al., 2024).

4. METABOLIC INDICATORS AND CLINICAL INTERPRETATIONS

Postoperative hyperglycemia is one of the most apparent metabolic reflections of surgical stress. Increases in catecholamines, cortisol and glucagon raise hepatic glucose production and reduce peripheral glucose utilization; hyperglycemia can impair neutrophil function, endothelial integrity and wound healing, thereby increasing the risk of infection and other complications (Duggan et al., 2017; Gillis & Carli, 2015).

A single blood glucose measurement does not adequately reflect the patient’s metabolic state. The context of the measurement—fasting or fed state, dextrose-containing fluids, enteral/parenteral nutrition, steroid use, sepsis, history of diabetes and insulin therapy—must be considered; therefore serial glucose monitoring and, when indicated, HbA1c provide complementary information about preoperative metabolic reserve (Duggan et al., 2017).

Current perioperative approaches accept that overly tight glycemic control may increase the risk of hypoglycemia. Targets are individualized according to the patient's diabetes status, need for intensive care, renal-hepatic function and route of nutrition; many clinical protocols use approximately 140–180 mg/dL for noncritically ill adults as a practical range balancing safety and benefit, but this range does not replace patient-specific medical judgment (Duggan et al., 2017; Weimann et al., 2025).

C-reactive protein (CRP) is a widely used marker to monitor the acute phase response to surgical trauma. A postoperative rise in CRP is expected; its primary clinical value lies less in a single high result than in the absence of the expected decline over time, recurrent rises, or its assessment together with fever, tachycardia, leukocytosis, organ dysfunction and wound findings (Gazouli et al., 2024; Cederholm et al., 2019).

Serum albumin was used for many years as a core indicator of nutritional status; however, albumin's approximately three-week half-life, its susceptibility to the acute phase response, intravascular–extravascular fluid distribution, hepatic synthesis, renal losses and hemodilution make it misleading as a sole nutritional marker. Acute surgical injury can lower albumin quickly; this decrease often reflects inflammation and capillary leak more than changes in nutrient intake (Gazouli et al., 2024; Cederholm et al., 2019). Changes in postoperative albumin have been reported to be associated with major complications in elective intestinal surgery, but these findings came from single-center and selected populations and should not be directly generalized across different types of surgery. The most accurate use of albumin is as a dynamic risk marker interpreted alongside CRP, fluid balance, liver–kidney function, muscle mass and clinical course (Galata et al., 2020).

In patients who have been undernourished or fasting for prolonged periods, total body stores of phosphate, potassium and magnesium may be depleted; even if serum values appear normal initially, insulin increases after refeeding can drive these electrolytes intracellularly. Resulting hypophosphatemia, hypokalemia, hypomagnesemia, fluid retention and thiamine deficiency can lead to cardiac, respiratory, neurological and metabolic disturbances (da Silva et al., 2020). ASPEN consensus recommendations use the degree of decline in serum phosphate, potassium or magnesium during the first five days after caloric reintroduction to classify the severity of refeeding syndrome. A decrease of 10–20% in any electrolyte is considered mild, 20–30% moderate, and a decrease of more than 30% or the presence of organ dysfunction indicates a severe presentation; this classification should be considered together with the clinical picture and signs of thiamine deficiency (da Silva et al., 2020).

In patients receiving parenteral nutrition, monitoring triglycerides, glucose, liver enzymes, electrolytes and fluid balance is important to assess metabolic tolerance. Hypertriglyceridemia may be related to excessive lipid emulsion delivery, sepsis, uncontrolled hyperglycemia or certain medications and may require reassessment of the parenteral formulation (Weimann et al., 2025; Gazouli et al., 2024). Changes in liver enzymes should not be attributed solely to nutrient toxicity; sepsis, drugs, ischemia, cholestasis, surgical complications and underlying liver disease must be considered. The aim of metabolic monitoring is not to “normalize” individual values per se but to determine whether nutritional therapy is compatible with the patient's physiological capacity and is contributing to clinical recovery (Weimann et al., 2025).

5. CLINICAL IMPLICATIONS OF METABOLIC INDICATORS

Assessment of postoperative malnutrition should follow the patient's trajectory from baseline through discharge and recovery at home, rather than relying on single time-point tests. The timetable below should be considered a framework to be adapted according to type of surgery,

need for intensive care, renal–hepatic function, route of nutrition and institutional protocol (Weimann et al., 2025; Gazouli et al., 2024). There is strong observational evidence that malnourished surgical patients have increased complications, need for intensive care, length of stay, readmission and costs. Reviews in gastrointestinal surgery report increased mortality and length of stay associated with malnutrition; sarcopenia meta-analyses show higher complication rates and increased 30-day readmission risk (Gazouli et al., 2024; Pipek et al., 2020). These associations should be interpreted cautiously with regard to causality, because malnutrition may coexist with cancer stage, age, comorbidity, emergency surgery, sepsis and surgical complexity. Nevertheless, nutritional risk screening, early nutritional support, monitoring of protein intake, glycemic control, early mobilization and continuity after discharge are implementable targets for clinical quality improvement (Weimann et al., 2025; Wischmeyer et al., 2018).

Wound healing requires coordinated provision of energy, amino acids, oxygen, micronutrients and immune responses. Protein-energy insufficiency can impair collagen synthesis, fibroblast activity, angiogenesis and immune cell responses; hyperglycemia can disrupt neutrophil chemotaxis and phagocytosis, increasing the risk of surgical site infection (Duggan et al., 2017; Williams et al., 2019).

Loss of respiratory muscle mass reduces cough strength and secretion clearance, increasing the risk of atelectasis, pneumonia and prolonged ventilator dependence. Hypophosphatemia occurring in refeeding syndrome can impair ATP production and diaphragm function, worsening respiratory failure (da Silva et al., 2020; Pipek et al., 2020). Hypokalemia, hypomagnesemia and fluid overload increase the risk of arrhythmia and cardiac dysfunction. Therefore, in a patient with cardiopulmonary deterioration, electrolyte shifts, refeeding syndrome, sepsis, bleeding, drug effects and organ failure should be assessed alongside calorie–protein insufficiency (da Silva et al., 2020; Weimann et al., 2025).

Ileus and gastrointestinal dysfunction are both clinical consequences of postoperative stress and factors that exacerbate nutritional deficits. Pain, opioid use, fluid–electrolyte disturbances, immobilization, inflammation and surgical manipulation can impair bowel motility; as inadequate intake persists, muscle loss and metabolic fragility increase (Weimann et al., 2025; Gazouli et al., 2024). A daily protein deficit that seems small can combine with prolonged bed rest to produce persistent post-discharge sarcopenia and frailty. Therefore the postoperative nutrition plan should not end at hospital discharge; it should be continued with oral supplementation, symptom management, physical activity and, when needed, home enteral or parenteral support (Williams et al., 2019; Weimann et al., 2025).

6. CONCLUSION

Postoperative malnutrition is a dynamic syndrome shaped by surgical stress–induced insulin resistance, hyperglycemia, inflammation, proteolysis, negative nitrogen balance, fluid–electrolyte shifts and reduced intake. Thus the most valuable metabolic indicator is not a single highest or lowest laboratory result but the direction of change over time in the patient’s nutrient intake, inflammation, glucose control, electrolyte safety, muscle reserves and functional recovery (Cederholm et al., 2019; Weimann et al., 2025).

In practice, screening and GLIM-based diagnosis should be combined with an interpretation that recognizes the limitations of serum markers, serial electrolyte and glucose monitoring, assessment of muscle mass and function, early oral/enteral feeding, protection against refeeding syndrome, appropriate parenteral support when indicated, and early mobilization. Such an approach manages malnutrition not merely as a laboratory abnormality but as a clinical risk domain linked to wound healing, infection, respiratory and gastrointestinal function, length of

stay, readmission, mortality and quality of life (Weimann et al., 2025; da Silva et al., 2020; Pipek et al., 2020).

REFERENCES

- Agrawal, A., & Chauhan, S. (2020). Seroma and hematoma: A review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 14(1), RE01-RE04.
- Alotaibi, A. B., Alnodali, M. A., Alenzi, A. A. G., Alanazi, F. A., Qunfuthi, H. S., Amber, W. J., ... & Alfaifi, R. H. (2024). The Role of Nurse-Surgeons in Advancing Global Surgical Care: Challenges and Contributions in Care after Open Heart Operations with a Focus on Biochemical Markers. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(13), 1307-1316.
- Berrios-Torres, S. I., Umscheid, C. A., Bratzler, D. W., Leas, B., Stone, E. C., Kelz, R. R., ... & Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. (2017). Centers for disease control and prevention guideline for the prevention of surgical site infection, 2017. *JAMA surgery*, 152(8), 784-791.
- Boga, S. M. (2019). Nursing practices in the prevention of post-operative wound infection in accordance with evidence-based approach. *International Journal of Caring Sciences*, 12(2), 1228.
- Callender, L. F., Johnson, A. L., & Pignataro, R. M. (2021). Patient-centered education in wound management: improving outcomes and adherence. *Advances in skin & wound care*, 34(8), 403-410.
- Ding, S., Lin, F., Marshall, A. P., & Gillespie, B. M. (2017). Nurses' practice in preventing postoperative wound infections: an observational study. *Journal of wound care*, 26(1), 28-37.
- Ghaly, P., Iliopoulos, J., & Ahmad, M. (2021). The role of nutrition in wound healing: an overview. *British Journal of nursing*, 30(5), S38-S42.
- Gonzalez, A. C. D. O., Costa, T. F., Andrade, Z. D. A., & Medrado, A. R. A. P. (2016). Wound healing-A literature review. *Anais brasileiros de dermatologia*, 91(5), 614-620.
- Matsuzaki, K., & Upton, D. (2013). Wound treatment and pain management: a stressful time. *International wound journal*, 10(6), 638-644.
- Murthy, B. L., Thomson, C. S., Dodwell, D., Shenoy, H., Mikeljevic, J. S., Forman, D., & Horgan, K. (2007). Postoperative wound complications and systemic recurrence in breast cancer. *British journal of cancer*, 97(9), 1211-1217.
- Seidelman, J. L., Mantyh, C. R., & Anderson, D. J. (2023). Surgical site infection prevention: a review. *Jama*, 329(3), 244-252.
- Wasiak, J., Cleland, H., & Campbell, F. (2009). Dressings for superficial and partial thickness burns. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3).
- Webster, J., & Osborne, S. (2015). Wound management: Dehiscence. *Journal of Wound Care*, 24(1), 1-6.
- Welsh, L. (2018). Wound care evidence, knowledge and education amongst nurses: a semi-systematic literature review. *International wound journal*, 15(1), 53-61.
- Yao, K., Bae, L., & Yew, W. P. (2013). Post-operative wound management. *Australian family physician*, 42(12), 867-870.

RÜZGÂR ENERJİSİ TAHMİNİNDE RANDOM FOREST (RF) VE LIGHT GRADIENT BOOSTING MACHINE (LIGHTGBM) MODELLERİNİN OPTUNA TABANLI PERFORMANS ANALİZİ

Hatice ŞİMŞEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-8590-441X>

Doç. Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3950-4156>

ÖZET

Yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi, küresel ölçekte giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak rüzgâr hızındaki değişkenlik, enerji üretiminde belirsizliklere yol açarak elektrik şebekesine entegrasyon ve enerji planlama süreçlerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, üretimin daha doğru tahmin edilmesini sağlayacak gelişmiş makine öğrenmesi modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Random Forest (RF) ve Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) algoritmalarının rüzgâr enerjisi üretim tahminindeki performansları karşılaştırılmış ve Optuna tabanlı hiperparametre optimizasyonunun model başarısına etkisi değerlendirilmiştir. Analizlerde, Ege Bölgesi'nde bulunan bir rüzgâr enerji santralinden elde edilen tarihsel veriler kullanılmış; giriş değişkenleri olarak rüzgâr hızı, kanat açısı (pitch angle), ortam sıcaklığı, rotor hızı ve nacelle yönü, çıkış değişkeni olarak ise türbinin ürettiği enerji miktarı dikkate alınmıştır. Modellerin genelleme performansını artırmak ve aşırı öğrenmeyi önlemek amacıyla Optuna ile hiperparametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sürecinde, modellerin genelleme performansını güvenilir bir şekilde değerlendirmek ve aşırı öğrenme (overfitting) riskini azaltmak amacıyla 5 katlı çapraz doğrulama (5-Fold Cross Validation) yöntemi uygulanmıştır. Geliştirilen modellerin tahmin performansları; Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error, RMSE), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE) ve Belirleme Katsayısı (Coefficient of Determination, R^2) metrikleri kullanılarak değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tanımlanan performans metriklerine göre, hem Random Forest (RF) hem de LightGBM modelleri rüzgâr enerjisi üretim tahmininde yüksek tahmin doğruluğu sağlamıştır. RF modeli, 1,825 kWh RMSE, 0,899 kWh MAE ve 0,9987 R^2 değerleri ile en iyi performansı göstermiştir. LightGBM modeli ise 1,850 kWh RMSE, 0,960 kWh MAE ve 0,9986 R^2 değerleri ile RF modeline oldukça yakın bir performans sergilemiştir. Elde edilen sonuçlar, meteorolojik değişkenlerin rüzgâr türbininin enerji üretimi üzerinde önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, Optuna kütüphanesiyle gerçekleştirilen hiperparametre optimizasyonunun her iki modelin tahmin performansını anlamlı düzeyde iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, LightGBM, RF, Optuna, Enerji tahmini

OPTUNA BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF RANDOM FOREST (RF) VE LIGHT GRADIENT BOOSTING MACHINE (LIGHTGBM) MODELS IN WIND ENERGY FORECASTING

ABSTRACT

Wind energy, as a renewable and environmentally friendly energy source, has gained increasing importance worldwide. However, fluctuations in wind speed lead to uncertainties in power generation, posing challenges for power grid integration and energy planning. Therefore, advanced machine learning models are required to improve the accuracy of wind power forecasting.

In this study, the performance of the Random Forest (RF) and Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) algorithms in wind power generation forecasting was comparatively analyzed, and the effect of Optuna-based hyperparameter optimization on model performance was evaluated. Historical data obtained from a wind power plant located in the Aegean Region of Türkiye were used for the analyses. Wind speed, pitch angle, ambient temperature, rotor speed, and nacelle direction were selected as input variables, while the turbine energy output was used as the target variable. To improve the generalization capability of the models and reduce overfitting, Optuna-based hyperparameter optimization was performed. In addition, 5-fold cross-validation was employed to provide a reliable assessment of model generalization performance and to reduce the risk of overfitting. The predictive performance of the developed models was evaluated using Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and the Coefficient of Determination (R^2).

Based on the defined performance metrics, both the Random Forest (RF) and LightGBM models achieved high prediction accuracy in wind power forecasting. The RF model demonstrated the best performance, with an RMSE of 1.825 kWh, an MAE of 0.899 kWh, and an R^2 value of 0.9987. The LightGBM model exhibited comparable performance, achieving an RMSE of 1.850 kWh, an MAE of 0.960 kWh, and an R^2 value of 0.9986. The results indicate that meteorological variables play a significant role in wind power generation. Furthermore, hyperparameter optimization using the Optuna library **significantly enhanced the predictive performance** of both machine learning models.

Keywords: Wind energy, LightGBM, Random Forest (RF), Optuna, Wind power forecasting.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji talebi, sanayileşme, teknolojik ilerlemeler ve nüfus artışı ile giderek artmaktadır [1]. Fosil yakıtların sınırlı rezervleri, düzensiz dağılımı ve çevresel etkileri, sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle düşük karbon emisyonu ve tükenmez yapıları sayesinde ön plana çıkmaktadır [2]. Rüzgâr enerjisi, teknolojik gelişmeler, yatırım teşvikleri ve kurulum kolaylığı ile bu kaynaklar arasında önemli bir paya sahiptir. Ancak rüzgâr enerjisinin doğası gereği değişken olması, enerji arz-talep dengesini etkileyen kritik bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle rüzgâr enerjisi üretiminin doğru tahmin edilmesi, hem elektrik şebekelerinin kararlılığı hem de ekonomik planlama açısından büyük önem taşımaktadır [3].

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmanın yanı sıra, karbondioksit (CO_2) emisyonlarını sınırlayarak küresel ısınmanın çevresel etkilerini azaltmaya katkı sağlamaktadır. Rüzgâr, güneş, jeotermal ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir ve tükenmez özellikleri sayesinde artan küresel enerji talebinin karşılanmasında önemli bir potansiyele sahiptir. Bu kaynaklar, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ve enerji arz güvenliğinin artırılması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr enerjisi;

çevre dostu yapısı, düşük karbon salınımı, işletme sürecindeki düşük çevresel etkileri ve teknolojik gelişmelerle birlikte artan enerji dönüşüm verimliliği sayesinde ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi üretimi doğası gereği değişkenlik göstermekte ve enerji arz-talep dengesini etkileyen kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi üretiminin doğru tahmin edilmesi, hem şebeke kararlılığı hem de ekonomik planlama açısından büyük önem taşımaktadır. [4].

Son yıllarda rüzgâr enerjisi tahmininde makine öğrenmesi yöntemleri, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri modelleme kapasiteleri sayesinde, geleneksel istatistiksel yöntemlerden daha başarılı sonuçlar vermektedir [5]. Giriş değişkenleri olarak rüzgâr hızı, rotor hızı, kanat açısı ve sıcaklık gibi türbin performansını etkileyen parametreler sıklıkla kullanılmaktadır [6]. Makine öğrenmesi algoritmaları, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yetenekleri sayesinde geleneksel yöntemlerden daha başarılı tahminler sunmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Rüzgâr enerjisi üretim tahmini, yenilenebilir enerji sistemlerinin planlaması ve işletilmesi açısından kritik bir konudur. Literatürde, rüzgâr enerjisi üretimini tahmin etmek için hem klasik istatistiksel yöntemler hem de makine öğrenmesi algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Klasik yöntemlerden ARIMA ve regresyon modelleri, kısa vadeli tahminlerde kullanılmakla birlikte, veri setlerinin karmaşıklığı ve doğrusal olmayan ilişkiler nedeniyle sınırlı performans göstermektedir [7].

Bu nedenle, son yıllarda Random Forest (RF), K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Regression (SVR), Extreme Gradient Boosting (XGBoost) ve Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) gibi makine öğrenmesi ve Ensemble yöntemleri yaygınlaşmıştır. **Özellikle, RF** algoritması birden fazla karar ağacının topluluk hâlinde çalışmasıyla karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri etkili bir şekilde modelleyebilmesi nedeniyle rüzgâr enerjisi tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, aşırı öğrenmeye karşı dayanıklı yapısı ve yüksek tahmin doğruluğu, modelin güvenilirliğini artırmaktadır [8].

Diğer taraftan, **LightGBM** ise gradyan artırma tabanlı bir algoritma olarak hızlı eğitim süresi ve yüksek doğruluk performansı sunmakta; yaprak odaklı büyüme stratejisi sayesinde büyük veri setlerinde etkin sonuçlar üretmektedir [9].

Literatürde mevsimsel ve meteorolojik faktörlerin (rüzgâr hızı, rotor hızı, kanat açısı, sıcaklık, nacelle yönü) enerji üretimi tahmininde önemli girdiler olduğu vurgulanmaktadır [10]. Yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, RF ve LightGBM'in kısa ve orta vadeli tahminlerde yüksek performans gösterdiğini, KNN ve SVR'in veri setine bağlı olarak değişken sonuçlar verdiğini göstermektedir [11].

Bu bağlamda, 2025 yılında yapılan çalışmada, Çeşme'de bulunan bir RES verisi kullanılarak RF, KNN, XGBoost ve LightGBM modellerinin karşılaştırmalı performansı incelenmiş, Optuna ile Bayesçi hiperparametre optimizasyonu uygulanmış ve RF modeli en yüksek doğrulukla öne çıkmıştır [12]. Bu çalışma, literatürdeki benzer araştırmalarla tutarlı sonuçlar vermektedir ve model karşılaştırmalı yaklaşımların rüzgâr enerjisi tahminindeki önemini göstermektedir.

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar, hiperparametre optimizasyonunun makine öğrenmesi modellerinin tahmin doğruluğu ve genelleme performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, geleneksel optimizasyon yöntemlerine kıyasla daha az iterasyonla etkin sonuçlar elde edebilen Bayesçi optimizasyon tabanlı yaklaşımlar,

özellikle Optuna gibi modern optimizasyon kütüphaneleri aracılığıyla yaygın olarak tercih edilmektedir [13,14].

2. VERİ KAYNAĞI VE ÖZELLİK SEÇİMİ

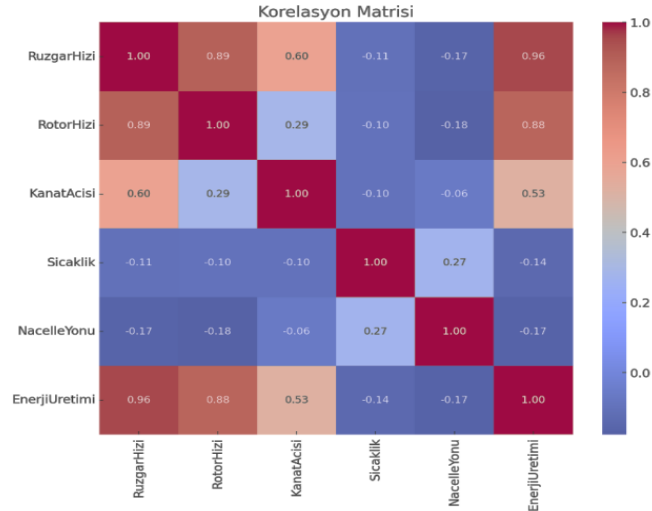
Araştırmada kullanılan veritabanı, Ege Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir rüzgâr enerji santralinden 18 ay boyunca 10'ar dakikalık periyotlarla kaydedilen kronolojik ölçümlerden oluşmaktadır. Türbinin güç üretim performansını etkileme potansiyeli bulunan meteorolojik ve mekanik parametreler çalışmanın değişkenlerini oluşturmaktadır.

Çalışmada girdi (bağımsız) değişkeni olarak kullanılan parametreler aşağıda verilmektedir:

- *Rüzgâr Hızı (m/s)*: Kinetik enerjinin kaynağı olup, güç üretimini doğrudan belirleyen temel meteorolojik faktördür.
- *Rotor Hızı (rpm)*: Türbin milinin dönme frekansını ifade eder ve elektriksel güç çıkışıyla doğrudan korelasyon gösterir.
- *Kanat Açısı (derece)*: Aerodinamik kuvveti optimize etmek amacıyla rüzgârın şiddetine göre mekanik olarak ayarlanan kontrol parametresidir.
- *Sıcaklık (°C)*: Hava yoğunluğunu ve dolayısıyla türbin verimliliğini dolaylı yoldan etkileyen çevresel değişkendir.
- *Nacelle Yönü (derece)*: Türbin gövdesinin rüzgâr vektörüne göre konumunu ve yönelimini gösteren parametredir.

Çalışmanın çıktı (bağımlı) değişkeni ise türbin tarafından ilgili zaman diliminde üretilen *Enerji Miktarı (kWh)* olarak belirlenmiştir.

Tahmin modellerinin eğitim ve test aşamalarında verinin etkin kullanımı adına K-Katlı Çapraz Doğrulama (K-Fold Cross Validation) yöntemi tercih edilmiştir. Özellik mühendisliği ve girdi seçiminin doğrulanması amacıyla değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiler korelasyon analizi ile incelenmiştir (Şekil 1). Korelasyon matrisinden elde edilen ilk bulgular; özellikle rüzgâr hızı, rotor hızı ve kanat açısı değişkenlerinin enerji üretimi üzerinde yüksek bir açıklayıcılık oranına (kuvvetli ilişkiye) sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Korelasyon Matrisi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerji üretim değerlerinin tahmin edilmesi için topluluk öğrenmesi tabanlı iki farklı makine öğrenmesi yaklaşımı, Random Forest (RF) ve Light Gradient Boosting Machine (LightGBM), uygulanmıştır. Modellerin tahmin performanslarının iyileştirilmesi amacıyla hiperparametre optimizasyonu, Bayesçi optimizasyon tabanlı Optuna kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, ele alınan algoritmaların temel çalışma prensipleri ile model geliştirme, eğitim ve optimizasyon süreçlerine ilişkin uygulama detayları sunulmaktadır.

3.1 Hiperparametre Optimizasyonu

Makine öğrenmesi modellerinin tahmin başarımını etkileyen önemli unsurlardan biri, model eğitimi öncesinde belirlenen ve öğrenme sürecinin davranışını kontrol eden hiperparametrelerdir. Bu parametreler, modelin yapısını ve öğrenme performansını doğrudan etkileyerek optimizasyon sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Uygun hiperparametrelerin seçilmesi, modelin tahmin başarısını ve farklı veri kümeleri üzerindeki genelleme yeteneğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, hiperparametre optimizasyonu model geliştirme sürecinin kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada hiperparametre optimizasyonu için geleneksel Izgara Tarama (Grid Search) yöntemleri yerine Optuna kütüphanesi kullanılmıştır. Optuna, sıralı model tabanlı optimizasyon yaklaşımını benimsemekte ve varsayılan olarak Tree-structured Parzen Estimator (TPE) algoritmasını kullanmaktadır. TPE, literatürde Bayesçi optimizasyon ailesi içerisinde değerlendirilen bir yöntem olup, önceki denemelerden elde edilen performans sonuçlarını kullanarak yeni hiperparametre kombinasyonlarını olasılıksal bir yaklaşımla belirlemektedir [15]. Böylece, hiperparametre arama uzayını daha etkin bir şekilde keşfederek yüksek performanslı parametre setlerine daha az deneme ile ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, tüm parametre kombinasyonlarını sistematik olarak değerlendiren Grid Search yöntemine kıyasla daha düşük hesaplama maliyetiyle daha verimli sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca, çalışmada K-Katlı Çapraz Doğrulama (K-Fold Cross Validation) yöntemi kullanılmıştır [16]. Bu kapsamda veri seti beş alt kümeye ayrılmış (K=5) ve her iterasyonda dört alt küme eğitim, bir alt küme ise doğrulama amacıyla kullanılmıştır. Tüm alt kümelerin doğrulama veri seti

olarak kullanılmasıyla elde edilen performans sonuçlarının ortalaması alınarak model başarımları değerlendirilmiştir.

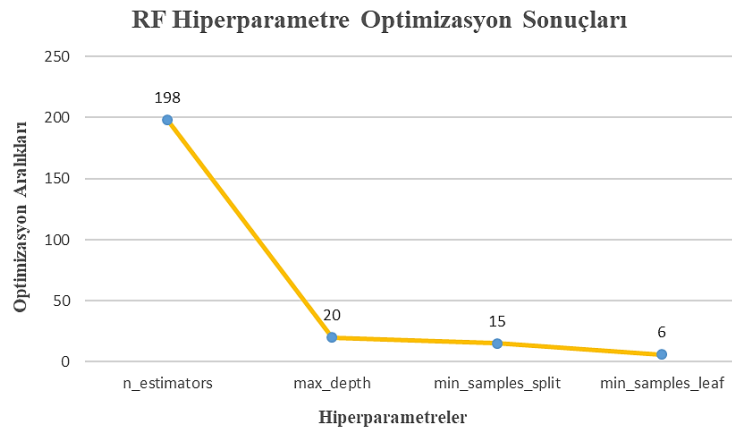
3.2 Random Forest (RF) Algoritması

RF, birden fazla karar ağacının oluşturulması ve bu ağaçların sonuçlarının birleştirilmesi prensibine dayanan topluluk (ensemble) öğrenme yöntemlerinden biridir. Bu algoritma, eğitim veri setinden rastgele örnekler seçerek her biri farklı alt veri kümeleriyle eğitilen çok sayıda karar ağacı oluşturur. Nihai tahmin, regresyon problemlerinde ağaçların ortalaması, sınıflandırma problemlerinde ise çoğunluk oyu ile belirlenir. Rastgelelik ve çoklu model yapısı sayesinde aşırı öğrenme (overfitting) problemi azaltılır ve modelin genelleme yeteneği artırılır. RF, özellikle doğrusal olmayan ilişkileri modelleme kabiliyeti ve yüksek doğruluk performansı ile öne çıkmaktadır. Gerçekleştirilen hiperparametre optimizasyonu sonucunda belirlenen en iyi parametre kombinasyonları Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. RF Optimizasyon Aralık Tablosu

Model	Hiperparametre	Optimum Ortalama Değer	Optimizasyon Aralığı
RF	n_estimators	198	[50, 400]
	max_depth	20	[5, 30] (log)
	min_samples_split	15	[2, 20]
	min_samples_leaf	6	[1, 10]

Optimizasyon sonucunda, **n_estimators** parametresi 198 olarak belirlenmiş olup, bu değer aralığın orta seviyelerinde yer almaktadır. Bu durum, modelin yeterli sayıda ağaç kullanarak genelleme kabiliyetini artırdığını göstermektedir. **Max_depth** parametresinin 20 olarak seçilmesi, modelin karmaşıklığının belirli bir seviyede tutulduğunu ve aşırı öğrenmenin (overfitting) önüne geçilmeye çalışıldığını ifade etmektedir. **Min_samples_split** değerinin 15 olması, düğümlerin bölünmesi için daha fazla örnek gerektiğini ve modelin daha geliştirilebilir bir yapı kazandığını göstermektedir. Benzer şekilde, **min_samples_leaf** parametresinin 6 olarak belirlenmesi, her yaprak düğümde minimum örnek sayısını artırarak modelin aşırı uyum yapmasını engellemektedir. Şekil 2’de sonuçlara ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 2. RF Hiperparametre Optimizasyon Sonuç Grafiği

Genel olarak değerlendirildiğinde, hiperparametrelerin çoğunun aralıkların orta-üst seviyelerinde konumlandığı görülmekte olup, bu durum modelin dengeli bir karmaşıklık seviyesinde optimize edildiğini göstermektedir.

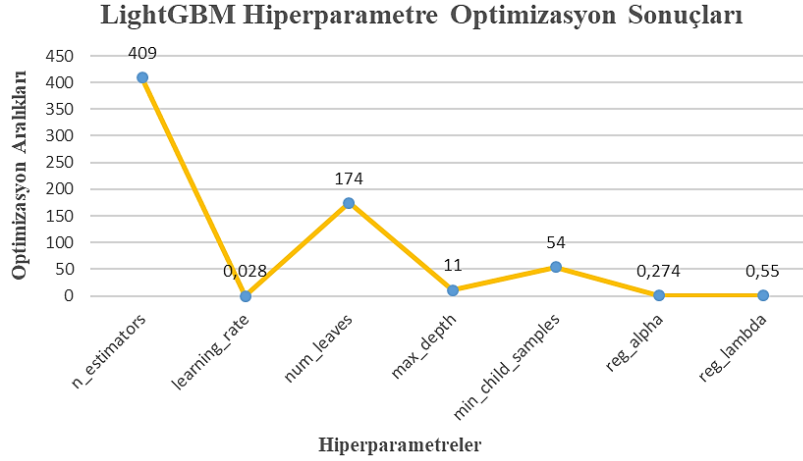
3.3 Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) Algoritması

LightGBM, gradyan artırma (gradient boosting) yaklaşımına dayanan, karar ağacı tabanlı bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu yöntem, her bir yeni ağacı önceki modelin hatalarını minimize edecek şekilde ardışık olarak oluşturur. Diğer boosting algoritmalarından farklı olarak LightGBM, yaprak (leaf-wise) büyüme stratejisi kullanarak daha hızlı öğrenme ve daha yüksek doğruluk elde etmeyi amaçlar. Ayrıca histogram tabanlı öğrenme ve düşük bellek kullanımı gibi özellikleri sayesinde büyük veri setlerinde oldukça etkin performans göstermektedir. Bu avantajları nedeniyle LightGBM, özellikle yüksek boyutlu ve karmaşık veri yapılarında tercih edilen güçlü bir tahmin modelidir. Gerçekleştirilen hiperparametre optimizasyonu sonucunda belirlenen en iyi parametre kombinasyonları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. LightGBM Optimizasyon Aralık Tablosu

Model	Hiperparametre	Optimum Ortalama Değer	Optimizasyon Aralığı
LightGBM	n_estimators	409	[50, 500]
	learning_rate	0.028	[0.005, 0.2] (log)
	num_leaves	174	[20, 256]
	max_depth	11	[-1, 20]
	min_child_samples	54	[20, 100]
	reg_alpha	0.274	[0.0, 1.0]
	reg_lambda	0.550	[0.0, 1.0]

Elde edilen sonuçlara göre, **n_estimators** parametresinin 409 gibi yüksek bir değerde seçilmesi, modelin daha fazla sayıda ağaç ile öğrenme gerçekleştirdiğini göstermektedir. Buna karşılık **learning_rate** parametresinin 0.028 gibi düşük bir değerde olması, öğrenmenin daha yavaş ancak daha kontrollü gerçekleştiğini ifade etmektedir. **Num_leaves** parametresinin 174 olarak belirlenmesi, modelin karmaşıklığının arttığını ve daha fazla bölünme ile detaylı öğrenme yapıldığını göstermektedir. **Max_depth** parametresinin 11 olması ise bu karmaşıklığın sınırlandırıldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca **min_child_samples** değerinin 54 olması, modelin daha genelleştirilebilir bir yapı kazanmasını sağlarken, **reg_alpha** ve **reg_lambda** parametrelerinin sırasıyla 0.274 ve 0.550 olarak seçilmesi, düzenleme (regularization) etkisi ile aşırı öğrenmenin azaltıldığını göstermektedir. Şekil 3’te sonuçlara ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 3. LightGBM Hiperparametre Optimizasyon Sonuç Grafiği

Genel olarak değerler $\sim 0,028$ ve yüksek ağaç sayısı ile birlikte düzenleme parametrelerinin dengeli kullanımı sayesinde optimize edildiği görülmektedir.

3.4 Performans Metrikleri

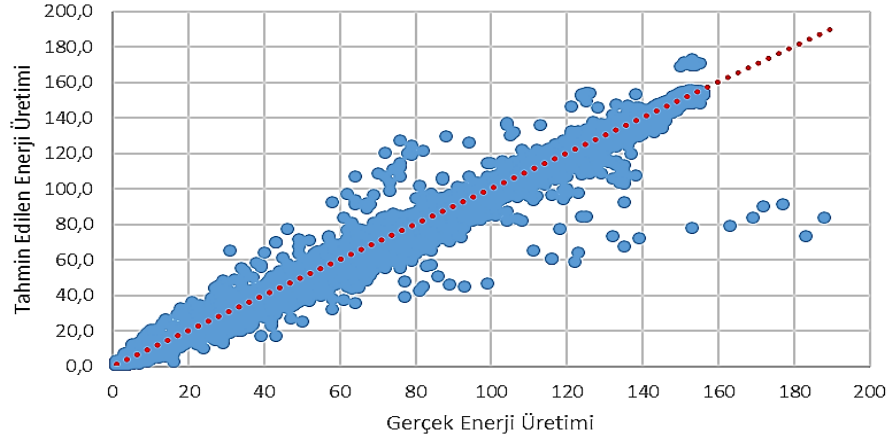
Çalışmada kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının tahmin performansları, aşağıdaki metrikler ile değerlendirilmiştir:

- RMSE (Root Mean Squared Error – Kök Ortalama Kare Hata): Tahmin hatalarının karelerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır. Düşük RMSE değeri, modelin tahminlerinin gerçek değerlere yakın olduğunu gösterir.
- MAE (Mean Absolute Error – Ortalama Mutlak Hata): Tahmin hatalarının mutlak değerlerinin ortalaması alınır. MAE değeri düşük olan modeller, daha doğru tahminler gerçekleştirmektedir.
- R^2 (Determination Coefficient – Belirleme Katsayısı): Modelin, gözlemlenen veri içindeki değişkenliği açıklama derecesini gösterir.
 - $R^2 = 1 \rightarrow$ Model veriyi tamamen açıklar, mükemmel uyum.
 - $R^2 = 0 \rightarrow$ Model veriyi açıklamada başarısız.
 - $R^2 < 0 \rightarrow$ Model, rastgele tahminden dahi daha kötü performans gösteriyor.

Bu metrikler, model karşılaştırmalarında doğruluk ve güvenilirlik açısından önemli göstergeler olarak kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE SONUÇLAR

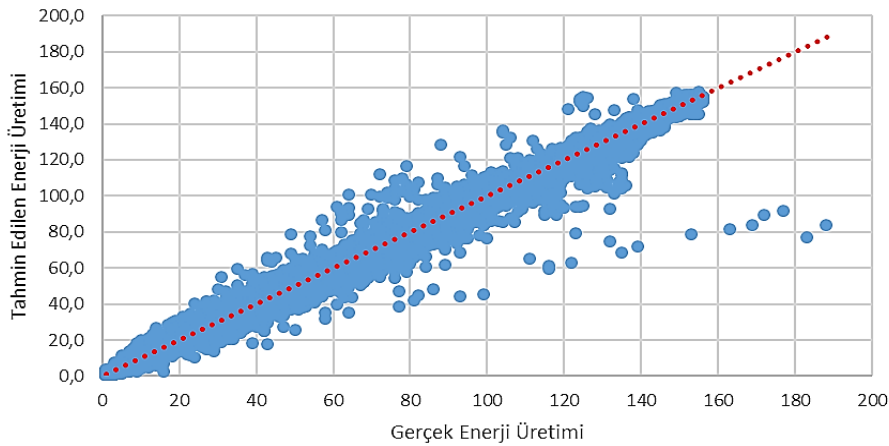
Bu bölümde, rüzgâr enerjisi üretiminin makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesine yönelik elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Çalışmada model girdileri olarak rüzgâr hızı, rotor hızı, kanat açısı, ortam sıcaklığı ve nacelle yönü kullanılırken, hedef değişken olarak enerji üretim değeri dikkate alınmıştır. Tahmin modellerinin oluşturulmasında RF ve LightGBM algoritmalarından yararlanılmış, hiperparametre optimizasyonu ise Bayesçi optimizasyon yaklaşımını temel alan Optuna kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir. Modellerin performans değerlendirmesi, 5 katlı çapraz doğrulama (K-Fold = 5) yöntemi kullanılarak yapılmış ve başarımları ortalama RMSE, MAE ve R^2 metrikleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, her iki modelin tahmin performansı ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve modeller arasında kapsamlı bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. RF Enerji Üretim Tahmini

Şekil 4’te, RF modeli tarafından tahmin edilen enerji üretimi değerleri ile gerçek enerji üretimi değerlerinin karşılaştırılması sunulmaktadır. Grafikte yatay eksen gerçek enerji üretimi değerlerini, dikey eksen ise RF modeli tarafından elde edilen tahmin göstermektedir. Kırmızı kesikli çizgi, model tahminlerinin gerçek değerlerle tam uyumlu olduğu ideal tahmin doğrultusunu ifade etmektedir.

Elde edilen dağılım incelendiğinde, tahmin sonuçlarının büyük bir bölümünün ideal tahmin çizgisi etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, RF modelinin enerji üretimindeki değişimleri başarılı bir şekilde öğrendiğini ve gerçek değerlere yakın tahminler gerçekleştirdiğini göstermektedir. Tahmin ve gerçek değerler arasındaki küçük sapmalar, veri içerisindeki değişkenliklerden ve özellikle yüksek enerji üretim seviyelerindeki doğrusal olmayan ilişkilerden kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte, modelin farklı üretim aralıklarında tutarlı sonuçlar verdiği ve genel eğilimi başarılı bir şekilde yakaladığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, RF algoritmasının rüzgâr enerji santrallerinde enerji üretiminin tahmin edilmesinde etkin ve güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5. LightGBM Enerji Üretim Tahmini

Şekil 5'te, LightGBM modeli tarafından tahmin edilen enerji üretimi değerleri ile gerçek enerji üretimi değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Grafikte yatay ekseninde gerçek enerji üretimi değerleri, dikey ekseninde ise LightGBM modeli tarafından elde edilen tahmin sonuçları yer almaktadır. Kırmızı kesikli çizgi, tahmin değerlerinin gerçek değerlerle tam uyum sağladığı ideal tahmin doğrultusunu temsil etmektedir.

Grafikteki dağılım incelendiğinde, LightGBM modeli tarafından elde edilen tahminlerin büyük ölçüde ideal tahmin çizgisi etrafında toplandığı görülmektedir. Bu durum, modelin enerji üretimindeki değişimleri başarılı bir şekilde yakalayabildiğini ve gerçek değerlerle yüksek uyumlu sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Özellikle düşük ve orta seviyedeki enerji üretim değerlerinde tahminlerin ideal çizgiye yakın seyretmesi, modelin bu aralıktaki performansının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek üretim seviyelerinde ise bazı küçük sapmaların meydana geldiği görülmekle birlikte, bu sapmaların sınırlı düzeyde kaldığı ve modelin genel eğilimi başarılı bir şekilde takip ettiği belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, LightGBM algoritmasının rüzgâr enerji santrallerinde enerji üretimi tahmininde yüksek doğruluk sağlayan, farklı üretim seviyelerinde kararlı sonuçlar üretebilen ve genelleme yeteneği güçlü bir makine öğrenmesi yaklaşımı olduğu değerlendirilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, rüzgâr enerji santrallerinde enerji üretiminin makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yüksek doğrulukla tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Modelleme sürecinde giriş değişkenleri olarak rüzgâr hızı, rotor hızı, kanat açısı, ortam sıcaklığı ve nacelle yönü kullanılmış; çıkış değişkeni olarak ise enerji üretimi ele alınmıştır.

Enerji üretiminin tahmin edilmesi amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan topluluk öğrenme yöntemlerinden RF ve LightGBM algoritmaları tercih edilmiştir. Modellerin tahmin performansını artırmak amacıyla hiperparametre optimizasyonu, Bayesçi optimizasyon yaklaşımına dayanan Optuna kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece her iki algoritma için en uygun hiperparametre kombinasyonları belirlenmiş ve model performansları optimize edilmiştir.

Modellerin genelleme yeteneğini güvenilir bir şekilde değerlendirmek amacıyla doğrulama sürecinde 5 katlı çapraz doğrulama (5-Fold Cross Validation) yöntemi uygulanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde veri kümesi beş alt kümeye ayrılmış, her bir alt küme sırasıyla test verisi olarak kullanılırken kalan dört alt küme eğitim sürecinde değerlendirilmiştir. Elde edilen performans ölçütlerinin ortalaması alınarak modellerin farklı veri örnekleri üzerindeki kararlılığı ve tahmin başarısı değerlendirilmiştir.

Çalışmada rüzgâr enerjisi üretiminin tahmin edilmesi amacıyla kullanılan RF ve LightGBM modelleri, elde edilen performans metrikleri açısından karşılaştırıldığında her iki yöntemin de oldukça yüksek doğruluk seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Her iki model için hesaplanan R^2 değerlerinin 0.9986'nın üzerinde olması, meteorolojik değişkenlerin enerji üretimini açıklamada son derece etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte RF modelinin hem RMSE (1.825 kWh) hem de MAE (0.899 kWh) değerlerinde LightGBM modeline kıyasla daha düşük hata üretmesi, bu modelin veri seti üzerinde daha dengeli ve istikrarlı tahminler gerçekleştirdiğini göstermektedir. LightGBM modeli de benzer şekilde yüksek performans sergilemekle birlikte, özellikle yüksek üretim değerlerinde gözlenen sapmalar modelin uç değerlerdeki değişkenliğe karşı daha hassas olduğunu düşündürmektedir. Bu çalışmada söz konusu iki modelin tercih edilmesinin temel nedeni, literatürde rüzgâr enerjisi tahmini problemlerinde sıklıkla kullanılan, güçlü genelleme kabiliyetine sahip ve farklı öğrenme

yaklaşımlarını temsil eden algoritmalar olmalarıdır. RF, bagging tabanlı yapısıyla varyansı azaltarak daha kararlı tahminler sunarken, LightGBM ise boosting yaklaşımıyla karmaşık ilişkileri hızlı ve etkin biçimde öğrenebilmektedir. Dolayısıyla, her iki modelin birlikte değerlendirilmesi hem doğruluk hem de model davranışı açısından kapsamlı bir analiz yapılmasına imkân tanımış ve elde edilen bulgular, RF modelinin bu veri seti özelinde daha üstün bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, hiperparametre optimizasyonu sürecinde kullanılan Bayesçi optimizasyon yaklaşımının model performansının iyileştirilmesinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Bu yaklaşım sayesinde algoritmaların optimum hiperparametre değerleri belirlenerek tahmin doğruluğunda belirgin bir artış sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji tahmin sistemlerinde otomatik optimizasyon tekniklerinin makine öğrenmesi modelleriyle birlikte kullanılmasının model başarımını artırmada etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Elde edilen yüksek doğruluk oranları ve düşük hata değerleri, geliştirilen modellerin yalnızca mevcut veri üzerinde değil, gelecekteki rüzgâr enerjisi üretiminin tahmin edilmesinde de etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Özellikle RF ve LightGBM gibi güçlü makine öğrenmesi algoritmalarının meteorolojik değişkenlerle kurduğu başarılı ilişkiler, kısa ve orta vadeli üretim tahminlerinde güvenilir sonuçlar elde edilebileceğine işaret etmektedir.

Önceki çalışmada kullanılan KNN ve XGBoost modelleri ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada değerlendirilen RF ve LightGBM modellerinin özellikle hata metrikleri açısından daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir [17]. Bununla birlikte, RF modelinin elde ettiği daha düşük RMSE ve MAE değerleri ile daha yüksek doğruluk seviyesi, bu veri seti özelinde diğer yaklaşımlara kıyasla daha üstün bir tahmin performansı sergilediğini göstermektedir. RF algoritmasının bagging tabanlı yapısı sayesinde farklı karar ağaçlarından elde edilen sonuçları birleştirerek varyansı azaltması, meteorolojik değişkenler arasındaki karmaşık ilişkilerin modellenmesinde daha kararlı tahminler üretmesine katkı sağlamaktadır. Buna karşın, KNN modelinin veri dağılımına ve komşuluk yapısına olan duyarlılığı, XGBoost modelinin ise ardışık öğrenme sürecinden kaynaklanan hassasiyetleri, bazı durumlarda tahmin performansının RF modelinin gerisinde kalmasına neden olabilmektedir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar, rüzgâr enerjisi tahmini probleminde RF modelinin bu çalışma koşulları altında daha dengeli, kararlı ve güvenilir bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecekte bu modellerin daha geniş veri setleri, farklı coğrafi bölgeler ve ek meteorolojik parametrelerle desteklenmesi, tahmin doğruluğunu daha da artırabilir. Ayrıca, gerçek zamanlı veri akışı ile entegre edilen tahmin sistemleri sayesinde enerji üretim planlaması, şebeke yönetimi ve arz-talep dengesi daha etkin bir şekilde sağlanabilir. Bununla birlikte, özellikle aşırı hava koşulları ve ani rüzgâr değişimleri gibi belirsizliklerin modele entegrasyonu, ileriye dönük tahminlerin daha da iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların rüzgâr enerjisi sektöründe karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaya devam edeceği öngörülmektedir.

Gelecek çalışmalarda, aşağıdaki yönelimler değerlendirilebilir:

- Rüzgâr enerjisi üretim tahminlerinde kullanılan veri setlerinin genişletilerek farklı coğrafi bölgelerden elde edilen verilerle model genellenebilirliğinin artırılması,
- Yalnızca rüzgâr hızı ve sıcaklık gibi temel değişkenlerin yanı sıra nem, basınç, türbülans yoğunluğu ve hava yoğunluğu gibi ek meteorolojik parametrelerin modele dahil edilmesi,
- Zaman serisi bağımlılıklarını daha etkin yakalayabilmek amacıyla LSTM ve Hibrit Derin Öğrenme modellerinin kullanılması;

- Modellerin hiperparametre optimizasyon süreçlerinin daha gelişmiş yöntemlerle (örneğin Bayesçi optimizasyonun farklı varyantları) iyileştirilmesi,
- Gerçek zamanlı veri akışıyla çalışan ve anlık tahmin üretebilen sistemlerin geliştirilmesi;
- Farklı makine öğrenmesi modellerinin birleşimini içeren ansambl (ensemble) yaklaşımların kullanılması ve model sonuçlarının enerji yönetim sistemlerine entegrasyonu da gelecekteki çalışmalar için önemli araştırma alanları arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

1. International Energy Agency (IEA). (2020). *World Energy Outlook 2020*. IEA Publications,
2. Global Wind Energy Council (GWEC). (2021). *Global Wind Report 2021*,
3. Kusiak, A., & Song, Z. (2010). *Wind turbine power prediction with data mining algorithms*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 25(4), 1147–1156,
4. Güçlü, M. T., & Altın, N. (2021). **Makine öğrenmesi ile rüzgâr enerjisi tahmini**. *Enerji Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 63-70.
5. Kusiak, A., & Song, Z. (2010). *Wind turbine power prediction with data mining algorithms*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 25(4), 1147–1156,
6. Zhang, H., et al. (2012). *Wind power forecasting using machine learning methods*. Energy Conversion and Management, 63, 475–482,
7. Taylor, J. W., & McSharry, P. E. (2007). *Short-term load forecasting methods: An evaluation based on European data*. IEEE Transactions on Power Systems, 22(4), 2213-2221.
8. Breiman, L. (2001). *Random Forests*. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
9. Ke, G., et al. (2017). LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. *NeurIPS*, 30, 3146–3154.
10. Zhang, Y., Wang, J., & Wang, X. (2019). Wind power prediction using meteorological data and machine learning techniques. *Energy*, 171, 1001-1013.
11. Huang, H., Li, J., & Sun, Y. (2021). Comparative study of ensemble learning models for wind power forecasting. *Applied Energy*, 283, 116364.
12. Şimşek, H. (2025). Meteorolojik Faktörlerin Rüzgâr enerji Santrallerine Etkisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
13. Komer, B., et al. (2019). Hyperparameter optimization for gradient boosting and random forest models. *Journal of Computational Science*, 32, 123–135.
14. Borchani, H., Varando, G., Bielza, C., & Larrañaga, P. (2015). A survey on multi-output regression. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 905–915.
15. Bergstra, J., Bardenet, R., Bengio, Y., & Kégl, B. (2011). Algorithms for Hyper-Parameter Optimization. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 24.
16. Kohavi, R. (1995). A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 1137–1143.
17. Şimşek, H., & Hasırcı Tuğcu, Z. (2025). The performance analysis of KNN and XGBoost models in wind energy forecasting: A Bayesian optimization based approach. *Proceedings Book of the 7th International Black Sea Modern Scientific Research Congress* (pp. 584–593). Artvin, Türkiye.

SÜRDÜRÜLEBİLİR KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA YAPAY ZEKÂ, GÖRÜNTÜ İŞLEME VE NÜKLEER ANALİZLERİN BÜTÜNLEŞİK KULLANIMI: DİSİPLİNLER ARASI BİR YAKLAŞIM

Pınar SEZER

İç Mimar, Bağımsız Araştırmacı İstanbul-Türkiye

ORCID: 0009-0002-4214-9404

ÖZET

Kültürel mirasın korunmasına yönelik güncel yaklaşımlar, tarihî yapıların ve kültür varlıklarının yalnızca fiziksel olarak korunmasını değil; özgünlüklerinin bilimsel yöntemlerle doğrulanmasını, malzeme özelliklerinin belirlenmesini, provenans bilgilerinin ortaya konulmasını, dijital ortamda belgelenmesini ve yasa dışı dolaşımlarının önlenmesini de kapsamaktadır. Yapay zekâ, görüntü işleme ve nükleer analiz tekniklerinde yaşanan gelişmeler, kültürel mirasın belgelenmesi, izlenmesi ve korunmasına yönelik yeni olanaklar sunmaktadır.

Bu çalışma, yapay zekâ, görüntü işleme ve nükleer analiz tekniklerinin kültürel mirasın korunmasındaki tamamlayıcı rollerini sürdürülebilir koruma perspektifinden disiplinler arası bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada yapay zekâ destekli görüntü analizi sistemlerinin kültür varlıklarının belgelenmesi, yüzey değişimlerinin izlenmesi, dijital envanterlerin karşılaştırılması ve çevrim içi platformlarda yer alan kültür varlıklarının mevcut veri tabanlarıyla eşleştirilmesine sağladığı katkılar ele alınmaktadır. Nükleer analiz teknikleri ise eserlerin element bileşiminin, üretim teknolojisinin, iç yapısının, yaşının ve olası coğrafi kökeninin bilimsel olarak belirlenmesine sunduğu imkânlar açısından incelenmektedir.

Çalışmanın yöntemi; UNESCO sözleşmeleri, uluslararası koruma ilkeleri ve güncel bilimsel literatürün karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda dijital belgeleme, provenans araştırmaları, görüntü işleme teknolojileri ve nükleer analiz yöntemleri birlikte ele alınarak kültürel mirasın korunmasına yönelik bütünlük bir karar destek modeli önerilmektedir. Bu modelde yüksek çözünürlüklü görüntüler, bilimsel malzeme analizleri ve dijital envanter verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle koruma süreçlerinin daha güvenilir ve bilimsel temellere dayandırılması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak çalışma, yapay zekâ, görüntü işleme ve nükleer analizlerin birlikte kullanılmasının kültür varlıklarının belgelenmesi, özgünlük değerlendirmesi, bilimsel restorasyon kararlarının desteklenmesi, sahtecilikle mücadele ve kültür varlıklarının izlenebilirliğinin güçlendirilmesi bakımından önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışma, teknolojiyi uzman bilgisinin yerine geçen bir unsur olarak değil; koruma bilimini destekleyen disiplinler arası bir karar destek sistemi olarak değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir kültürel miras, görüntü işleme, nükleer analiz, dijital belgeleme, bilimsel restorasyon.

INTEGRATED USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IMAGE PROCESSING AND NUCLEAR ANALYSIS FOR THE SUSTAINABLE CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE: AN INTERDISCIPLINARY APPROACH

ABSTRACT

Contemporary approaches to cultural heritage conservation extend beyond the physical preservation of historic buildings and cultural objects. They also encompass the scientific verification of authenticity, material characterization, provenance research, digital documentation, traceability, and the prevention of illicit trafficking. Recent advances in artificial intelligence, image processing, and nuclear analytical techniques have introduced new opportunities for documenting, monitoring, and safeguarding cultural heritage.

This study aims to evaluate the complementary roles of artificial intelligence, image processing, and nuclear analytical techniques in cultural heritage conservation through an interdisciplinary and sustainability-oriented perspective. Artificial intelligence-assisted image analysis is examined in terms of its contribution to documentation, surface change detection, comparison of digital inventories, and matching cultural objects with existing databases. Nuclear analytical techniques are discussed regarding their potential to determine elemental composition, manufacturing technology, internal structure, age, and possible geographical origin of cultural objects.

The research is based on a comparative review of UNESCO conventions, international conservation principles, and current scientific literature. Digital documentation, provenance research, image processing technologies, and nuclear analytical methods are evaluated together to propose an integrated decision-support framework for cultural heritage conservation. Within this framework, high-resolution imaging, scientific material analysis, and digital inventory data are jointly assessed to support more reliable and evidence-based conservation decisions.

The study concludes that the integrated use of artificial intelligence, image processing, and nuclear analytical techniques can significantly contribute to documentation, authenticity assessment, evidence-based conservation, combating forgery, and improving the traceability of cultural heritage. Rather than replacing expert judgment, these technologies are presented as interdisciplinary decision-support tools that strengthen sustainable conservation practices.

Keywords: Sustainable cultural heritage, image processing, nuclear analysis, digital documentation, scientific conservation.

GİRİŞ

Kültürel mirasın korunması, geçmişten günümüze ulaşan yapıların, arkeolojik alanların, sanat eserlerinin ve diğer kültür varlıklarının fiziksel bütünlüğünün sürdürülmesinin ötesinde; bu varlıkların tarihsel, bilimsel, toplumsal ve kültürel değerlerinin gelecek kuşaklara aktarılmasını kapsayan çok boyutlu bir süreçtir. Kültür varlıklarının malzeme özelliklerinin anlaşılması, özgünlüklerinin değerlendirilmesi, değişim ve bozulmalarının izlenmesi, belgelenmesi ve elde edilen bilgilerin güvenilir biçimde saklanması koruma sürecinin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır.

UNESCO'nun 1972 tarihli Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşmesi, kültürel ve doğal mirasın bozulma ve yok olma tehlikeleri karşısında korunmasının uluslararası önemini ortaya koymaktadır (UNESCO, 1972). Kültür varlıklarının korunması yalnızca fiziksel müdahaleler açısından değil, kayıt altına alınmaları ve yasa dışı dolaşımlarının önlenmesi açısından da önem taşımaktadır. UNESCO'nun 1970 tarihli sözleşmesi kültür varlıklarının yasa

dışı ithal, ihraç ve mülkiyet transferlerinin önlenmesine ilişkin uluslararası çerçeveyi ortaya koymaktadır (UNESCO, 1970).

Bu bağlamda kültürel mirasın bilimsel olarak belgelenmesi ile kültür varlıklarına ilişkin güvenilir veri oluşturulması birbirleriyle ilişkili süreçlerdir. Bir kültür varlığının malzeme bileşiminin, üretim tekniğinin, geçmiş müdahalelerinin ve mevcut durumunun mümkün olduğunca doğru biçimde anlaşılması, koruma kararlarının bilimsel verilerle desteklenmesine katkı sağlayabilir.

Günümüzde dijital teknolojiler bu süreçlere yeni olanaklar eklemektedir. Yüksek çözünürlüklü dijital görüntüler, fotogrametri, üç boyutlu modelleme ve dijital envanter sistemleri kültür varlıklarının mevcut durumunun kayıt altına alınmasında kullanılabilmektedir. Aynı zamanda yapay zekâ ve bilgisayarlı görü alanındaki gelişmeler, büyük miktardaki görsel verinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması açısından yeni araştırma olanakları ortaya çıkarmaktadır.

Yapay zekâ kullanımının kültürel miras alanına taşınması yalnızca teknolojik bir mesele olarak değerlendirilmemelidir. UNESCO'nun Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence belgesi, yapay zekâ sistemlerinin uygun durumlarda somut, belgesel ve somut olmayan kültürel mirasın korunması, anlaşılması, geliştirilmesi, yönetimi ve erişilebilirliğinde kullanılmasını teşvik etmekte; bununla birlikte insan gözetimi, etik sorumluluk ve insan merkezli yaklaşımın önemini vurgulamaktadır (UNESCO, 2021).

Kültür varlıklarının yalnızca görüntülerinin incelenmesi ise her araştırma sorusuna cevap vermeyebilir. Malzemenin element bileşimi, iç yapısı, üretim tekniği veya bazı durumlarda tarihlendirme ve provenans araştırmaları için farklı bilimsel analizlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), nükleer ve ilişkili analitik tekniklerin kültürel miras nesnelerinin karakterizasyonu ve korunmasına yönelik araştırmalarda kullanılabildiğini ortaya koymaktadır (IAEA, 2011).

Bu noktada temel sorun teknolojik yöntemlerin tek tek kullanılabilişinden çok, farklı yöntemlerden elde edilen bilgilerin koruma kararlarına nasıl aktarılacağıdır. Görüntü işleme yüzeyde gözlenebilen değişikliklere ilişkin veri sunarken malzeme analizleri farklı bir bilgi düzeyi oluşturabilir; tarihsel kayıtlar ve dijital envanterler ise kültür varlığının geçmişine ve kimliğine ilişkin bağlam sağlayabilir.

Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ destekli görüntü analizi, dijital belgeleme ve nükleer analitik yöntemleri birbirlerinin alternatifleri olarak değil, uzman değerlendirmesini destekleyen tamamlayıcı araçlar olarak ele alan bütünlük bir karar destek modeli önermektir. Çalışmada ayrıca Hasankeyf, çevresel koşulları ve suyla ilişkisi önemli ölçüde değişmiş kültürel miras alanlarında söz konusu modelin gelecekte nasıl değerlendirilebileceğini tartışmak amacıyla önerisel bir örnek olarak ele alınmaktadır.

YÖNTEM

Bu araştırma nitel araştırma yaklaşımına dayalı kavramsal ve karşılaştırmalı bir çalışmadır. Araştırmanın temel yöntemi, UNESCO sözleşmelerinin, uluslararası koruma ilkelerinin ve konuya ilişkin bilimsel literatürün karşılaştırmalı değerlendirilmesidir. Dijital belgeleme, yapay zekâ destekli görüntü analizi, provenans araştırmaları ve nükleer analitik yöntemlere ilişkin farklı veri ve yaklaşımlar sürdürülebilir kültürel mirasın korunması bağlamında birlikte ele alınmıştır.

Araştırmanın kuramsal çerçevesinde UNESCO'nun 1970 tarihli kültür varlıklarının yasa dışı dolaşımının önlenmesine ilişkin sözleşmesi, 1972 tarihli Dünya Mirası Sözleşmesi ve 2021 tarihli Yapay Zekâ Etiği Tavsiye Kararı dikkate alınmıştır (UNESCO, 1970; UNESCO, 1972; UNESCO, 2021).

Uluslararası koruma ilkeleri açısından, Venedik Tüzüğü'nün tarihî yapıların korunması ve restorasyonuna ilişkin ortaya koyduğu temel ilkeler de değerlendirme çerçevesinde dikkate alınmıştır (ICOMOS, 1964).

Böylece koruma, belgeleme, izlenebilirlik ve teknolojinin etik kullanımı birbirinden bağımsız konular olarak değil, sürdürülebilir kültürel miras yönetiminin ilişkili bileşenleri olarak değerlendirilmiştir.

Nükleer analitik yöntemlere ilişkin değerlendirmelerde IAEA'nın kültürel mirasın karakterizasyonunda nükleer tekniklerin kullanımına yönelik bilimsel yayınlarından yararlanılmıştır. IAEA'nın kültürel miras çalışmalarında X-ışını floresans (XRF), parçacık uyarımlı X-ışını emisyonu (PIXE) ve farklı iyon demeti analizleri gibi yöntemlerin kültür varlıklarının malzeme özelliklerinin araştırılmasında kullanılabileceği görülmektedir (IAEA, 2011).

Çalışma deneysel bir araştırma değildir. Kültür varlıkları üzerinde doğrudan nükleer analiz gerçekleştirilmemiş ve yeni bir yapay zekâ algoritması geliştirilerek saha verisi üzerinde doğrulanmamıştır. Bu nedenle araştırmanın bulguları deneysel başarı oranları veya ölçülmüş hasar değerleri biçiminde sunulmamaktadır.

Araştırmanın çıktısı, incelenen yöntemlerin hangi bilgi türlerini sağlayabileceğini ve bu bilgilerin uzman kontrollü bir koruma sürecinde nasıl ilişkilendirilebileceğini gösteren önerisel bütünsel karar destek modelidir. Hasankeyf örneği de gerçekleştirilen bir saha deneyi olarak değil, modelin gelecekte sınanabileceği kültürel miras alanlarından biri olarak tartışılmaktadır.

KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA DİJİTAL BELGELEME VE GÖRÜNTÜ İŞLEME

3.1. Dijital Belgelemenin Koruma Sürecindeki Yeri

Belgeleme, kültürel mirasın korunmasının temel aşamalarından biridir. Bir tarihî yapının veya kültür varlığının belirli bir tarihteki fiziksel durumunun güvenilir biçimde kayıt altına alınması, gelecekte meydana gelebilecek değişimlerin karşılaştırılmasına olanak sağlayabilir.

Dijital fotoğraf, fotogrametri, üç boyutlu modelleme ve diğer görüntüleme yöntemleri bu kayıtların ayrıntı düzeyini artırmaktadır. Yüksek çözünürlüklü görüntüler özellikle yüzey özelliklerinin belgelenmesi ve farklı zamanlarda elde edilen kayıtların karşılaştırılması bakımından önem taşımaktadır.

Ancak dijital belgelemenin sürdürülebilir olması yalnızca çok sayıda görüntü üretilmesi anlamına gelmemektedir. Görüntülerin hangi kültür varlığına ait olduğunun, ne zaman ve hangi koşullarda elde edildiğinin ve diğer envanter bilgileriyle nasıl ilişkilendirildiğinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle görsel kayıtların düzenli ve doğrulanabilir dijital envanterlerle ilişkilendirilmesi önemlidir.

3.2. Yapay Zekâ Destekli Görüntü Analizi

Yapay zekâ destekli görüntü analizi, büyük görüntü kümelerinde belirli özelliklerin tespit edilmesi, benzerliklerin karşılaştırılması ve görsel örüntülerin sınıflandırılması bakımından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Kültürel miras bağlamında bu kapasite; belgeleme, yüzey değişimlerinin karşılaştırılması ve dijital envanterlerde bulunan kayıtların ilişkilendirilmesi gibi amaçlarla değerlendirilebilir.

Güncel bilimsel literatürde yapay zekâ, derin öğrenme ve bilgisayarlı görü yöntemlerinin kültürel miras alanlarında görsel inceleme ve hasar tespit süreçlerini destekleme potansiyeli bulunduğu ortaya konulmaktadır (Mishra & Lourenço, 2024).

Örneğin aynı kültür varlığına ait farklı tarihlerde çekilmiş yüksek çözünürlüklü görüntüler uygun görüntü işleme yöntemleri aracılığıyla karşılaştırılabilir. Renk değişimleri, yüzey

kayıpları, çatlak benzeri görünür değişimler veya geometrik farklılıklar uzman incelemesine sunulacak alanların belirlenmesinde kullanılabilir.

Bununla birlikte görüntü üzerinde belirlenen farklılık doğrudan “hasarın nedeni” olarak yorumlanmamalıdır. Görüntüdeki değişiklik; ışık koşulları, kamera açısı, görüntü çözünürlüğü, mevsimsel farklılıklar veya yüzeyde gerçekten meydana gelen fiziksel bir değişimden kaynaklanabilir. Bu nedenle otomatik görüntü analizi uzman incelemesinin yerine geçmemelidir.

UNESCO’nun yapay zekâ etiği yaklaşımı da insan gözetiminin korunmasına ve yapay zekâ sistemlerinin toplumsal ve kültürel bağlam dikkate alınarak kullanılmasına önem vermektedir (UNESCO, 2021). Kültürel miras alanında bu yaklaşım özellikle önemlidir; çünkü korunacak değerin belirlenmesi yalnızca matematiksel bir sınıflandırma problemi değildir.

3.3. Dijital Envanter, Eşleştirme ve İzlenebilirlik

Araştırma çerçevesinin diğer bir bileşeni kültür varlıklarının dijital envanterlerde karşılaştırılması ve mevcut veri tabanlarıyla eşleştirilmesidir. Bu yaklaşım, yalnızca koruma müdahaleleri açısından değil, kültür varlıklarının kimliğinin ve dolaşım geçmişinin araştırılması açısından da önem taşımaktadır.

UNESCO’nun 1970 Sözleşmesi kültür varlıklarının yasa dışı ithal, ihraç ve mülkiyet transferlerinin önlenmesine yönelik uluslararası iş birliğini temel almaktadır (UNESCO, 1970). Güvenilir dijital kayıtların oluşturulması ve kültür varlıklarının ayırt edici özelliklerinin belgelenmesi, izlenebilirlik çalışmalarını destekleyebilecek bilgi altyapısının güçlendirilmesi açısından değerlendirilebilir.

Bununla birlikte görüntü benzerliği tek başına bir eserin kimliğini veya özgünlüğünü kesin olarak kanıtlamaz. Görsel eşleştirmenin tarihsel kayıtlar, envanter bilgileri, uzman değerlendirmesi ve gerektiğinde bilimsel malzeme analizleriyle desteklenmesi gerekir.

NÜKLEER ANALİTİK TEKNİKLER VE BİLİMSEL KORUMA

Kültür varlıklarının bilimsel araştırılmasında temel sorulardan biri, eserin hangi malzemelerden ve hangi tekniklerle üretildiğinin belirlenmesidir. Görsel inceleme önemli bilgiler sağlasa da malzemenin elementel veya iç yapısal özelliklerinin araştırılması için analitik yöntemlere ihtiyaç duyulabilir.

IAEA, kültürel miras nesnelerinin karakterizasyonunda çeşitli nükleer ve ilişkili tekniklerin kullanılabildiğini belirtmektedir. Bu yöntemler kültür varlıklarının bileşiminin, üretim süreçlerinin, provenansının ve korunma durumunun araştırılmasına katkı sağlayabilmektedir (IAEA, 2011).

XRF, malzemenin elementel bileşiminin araştırılmasında kültürel miras alanında kullanılan yöntemlerden biridir. PIXE de elementel karakterizasyona yönelik iyon demeti analizi yöntemleri arasında bulunmaktadır. RBS, PIGE ve diğer uygun teknikler ise araştırma sorusuna ve incelenen malzemeye göre farklı bilgiler sağlayabilmektedir.

Bu yöntemlerin sağladığı verilerin koruma açısından değeri, yalnızca bir element listesinin elde edilmesinde değildir. Malzeme bileşiminin anlaşılması, özgün ve sonradan eklenmiş malzemelerin araştırılması, üretim teknolojilerinin incelenmesi ve uygun koruma müdahalelerinin belirlenmesi gibi süreçlere bilimsel veri sağlayabilir.

Bu çalışma kapsamında nükleer analizler; element bileşimi, üretim teknolojisi, iç yapı, yaş ve olası coğrafi kökenin araştırılmasına sağlayabilecekleri katkılar açısından değerlendirilmektedir. Burada teknik bir ayrım önemlidir: tek bir nükleer analiz yönteminin bütün bu bilgileri aynı anda sağlaması beklenmemelidir. Araştırma sorusuna göre farklı

yöntemlerin seçilmesi gerekir. Özellikle yaş belirleme, element analizi veya iç yapının görüntülenmesi birbirinden farklı analitik yaklaşımlar gerektirebilir.

Bu nedenle önerilen bütünsel modelde “nükleer analiz” tek ve evrensel bir yöntem olarak kullanılmamaktadır. Hangi analizin gerekli olduğuna kültür varlığının malzemesi, araştırma sorusu, koruma durumu ve uzmanların değerlendirmesi doğrultusunda karar verilmesi öngörülmektedir.

YAPAY ZEKÂ, GÖRÜNTÜ İŞLEME VE NÜKLEER ANALİZLERİN BÜTÜNLEŞİK KULLANIMI

Çalışmanın temel önerisi, dijital görüntüleme, yapay zekâ destekli analiz ve bilimsel malzeme karakterizasyonunun birbirinden bağımsız aşamalar olarak değil, birbirini tamamlayan veri katmanları olarak değerlendirilmesidir.

Önerilen model beş temel aşamadan oluşmaktadır:

Birinci aşama: Belgeleme ve veri toplama. Kültür varlığına ilişkin yüksek çözünürlüklü fotoğraflar, mevcut dijital modeller, tarihsel görüntüler, envanter kayıtları ve diğer doğrulanabilir belgeler bir araya getirilir.

İkinci aşama: Görüntü karşılaştırma ve yapay zekâ destekli ön değerlendirme. Farklı tarihlerdeki görsel kayıtlar karşılaştırılır. Uygun veri bulunduğunda yapay zekâ destekli yöntemlerden görünür değişimlerin veya benzerliklerin belirlenmesinden yararlanılabilir.

Üçüncü aşama: Uzman değerlendirmesi. Görüntü analizinin işaret ettiği değişiklikler koruma uzmanlarınca incelenir. Böylece görüntüleme koşullarından kaynaklanan farklılıklarla gerçek malzeme değişikliklerinin birbirinden ayrılması amaçlanır.

Dördüncü aşama: Seçici bilimsel malzeme analizi. Uzmanların gerekli gördüğü ve teknik olarak uygulanabilir alanlarda araştırma sorusuna uygun analitik yöntem seçilir. Böylece görsel olarak belirlenen durumun malzeme karakterizasyonundan elde edilen verilerle birlikte değerlendirilmesi mümkün hâle gelir.

Beşinci aşama: Bütünsel karar desteği ve dijital kayıt. Görüntüler, analiz sonuçları, tarihsel kayıtlar ve uzman değerlendirmeleri ortak bir dijital bilgi altyapısında ilişkilendirilir. Nihai koruma kararını teknoloji değil, ilgili uzmanlar verir.

Modelin temel ilkesi bu nedenle “teknoloji + bilimsel analiz + uzman bilgisi” birlikteliğidir. Yapay zekâ hangi kültürel değer korunacağına karar veren aktör değildir. Benzer biçimde analitik cihazdan elde edilen veri de tek başına restorasyon kararını belirlememektedir.

Bu yaklaşım sürdürülebilirlik açısından da önem taşımaktadır. Düzenli ve karşılaştırılabilir verilerin oluşturulması, kültür varlığının yalnızca belirli bir restorasyon döneminde değil, uzun süre boyunca izlenmesine imkân verebilir. Yeni veriler eski kayıtlarla karşılaştırıldıkça kültür varlığının değişim sürecine ilişkin daha kapsamlı bir bilgi birikimi oluşturulabilir.

HASANKEYF ÜZERİNDEN ÖNERİSEL UYGULAMA SENARYOSU

Önerilen modelin potansiyel kullanımının tartışılabileceği alanlardan biri Hasankeyf’tir. Hasankeyf’in tarihsel ve arkeolojik niteliği ile su rejimindeki büyük ölçekli değişiklikler, kültürel mirasın uzun dönemli belgelenmesi ve farklı veri türlerinin birlikte değerlendirilmesi açısından dikkat çekici bir örnek oluşturmaktadır.

Hasankeyf yerleşiminin önemli bir bölümünün 2020 yılı itibarıyla Ilısu Baraj Gölü suları altında kalması ve Yukarı Şehir’e ilişkin daha önce oluşturulan belgeleme verilerinin günümüzde taşıdığı önem, kültürel mirasın uzun dönemli belgelenmesi açısından dikkat çekicidir (Belge, Topcu Campagna, & Tuna, 2024).

Ancak bu çalışmada Hasankeyf'teki kültür varlıkları üzerinde yapay zekâ destekli deneysel görüntü analizi, XRF, PIXE veya başka bir nükleer analiz gerçekleştirilmemiştir. Dolayısıyla bu bölüm uygulanmış bir deneyin sonuçlarını değil, önerilen bütünsel modelin Hasankeyf benzeri bir miras alanında gelecekte nasıl uygulanabileceğini tartışmaktadır.

İlk aşamada, Hasankeyf'e ilişkin su seviyesi ve çevresel koşullar değişmeden önce elde edilmiş fotoğraflar, arşiv kayıtları, mimari belgeler, fotogrametrik çalışmalar ve mevcut dijital modeller bir araya getirilebilir. Bu kayıtlar kültür varlıklarının önceki durumuna ilişkin referans veri oluşturabilir.

İkinci aşamada farklı dönemlere ait uygun nitelikteki görüntüler karşılaştırılabilir. Yeterli ve standardize edilmiş görsel veri mevcutsa yapay zekâ destekli görüntü analizi, çok sayıda görüntü içerisinde değişim görülen alanların belirlenmesinde yardımcı olabilir. Böylece uzmanların incelemesi gereken bölgelerin önceliklendirilmesine yönelik bir karar destek mekanizması oluşturulabilir.

Üçüncü aşamada görüntü temelli değerlendirmelerin uzmanlar tarafından doğrulanması gerekir. Özellikle su, nem, tuzlanma, biyolojik oluşumlar veya diğer çevresel etkilerle ilişkilendirilebilecek görünür değişiklikler gözlemlendiğinde, değişimin nedeni yalnızca görüntü üzerinden kesinleştirilmemelidir.

Fiziksel olarak erişilebilen kültür varlıklarında ve bilimsel açıdan gerekli görülen durumlarda araştırma sorusuna uygun malzeme analizleri uygulanabilir. Böylelikle görüntü üzerinde belirlenen bir değişiklik ile malzemenin elementel veya diğer fiziksel özellikleri farklı veri katmanları olarak birlikte değerlendirilebilir.

Hasankeyf örneğinin model açısından önemi burada ortaya çıkmaktadır. Kültürel mirasın korunması yalnızca yapının belirli bir andaki durumunu kaydetmek değil, değişimden önceki veriler ile sonraki verileri ilişkilendirerek uzun dönemli bir hafıza oluşturmak olarak düşünülebilir.

Bu yaklaşım özellikle tamamen veya kısmen erişilemez hâle gelen kültür varlıklarında dijital belgelemenin değerini artırmaktadır. Fiziksel müdahalenin mümkün olmadığı durumlarda bile geçmişte oluşturulmuş güvenilir dijital kayıtlar kültürel mirasın araştırılması, yorumlanması ve gelecek kuşaklara aktarılması bakımından önemini sürdürebilir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Literatürün ve uluslararası yaklaşımların karşılaştırmalı değerlendirilmesi, kültürel mirasın korunmasında dijital görüntüleme ile bilimsel malzeme analizinin farklı fakat birbirini tamamlayabilecek bilgi düzeyleri sunduğunu göstermektedir.

İlk bulgu, görsel verinin önemli fakat tek başına yeterli olmadığıdır. Yüksek çözünürlüklü görüntüler kültür varlığının görünür durumunu kayıt altına alabilir ve zamansal karşılaştırmaya olanak sağlayabilir. Ancak bir renk veya yüzey değişikliğinin malzeme düzeyindeki nedeni yalnızca görüntüden kesin olarak belirlenemeyebilir.

İkinci olarak yapay zekâ, özellikle geniş veri kümelerinin işlenmesinde önemli bir destek potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte yapay zekânın çıktısının doğrudan koruma kararı olarak kabul edilmesi doğru değildir. Veri kalitesi, görüntü standardizasyonu ve kullanılan modelin özellikleri sonuçları etkileyebilir. UNESCO'nun insan gözetimi ve etik sorumluluğa ilişkin yaklaşımı bu nedenle kültürel miras alanında doğrudan önem taşımaktadır (UNESCO, 2021).

Üçüncü olarak nükleer ve ilişkili analitik yöntemler, görüntünün sağlayamadığı malzeme bilgilerine ulaşılmasına katkıda bulunabilir. Elementel bileşim, üretim teknolojisi veya provenans araştırmasına ilişkin bilimsel veriler, kültür varlığının tarihinin ve özgünlüğünün değerlendirilmesini destekleyebilir (IAEA, 2011).

Dördüncü bulgu, kültürel mirasın izlenebilirliği bakımından dijital envanterlerin önemidir. Görüntü, malzeme analizi ve provenans bilgilerinin aynı kültür varlığıyla ilişkilendirilebilmesi, kayıtların güvenilirliğini artırabilir. Bu yaklaşım yasa dışı dolaşım veya sahtecilik şüphesi bulunan kültür varlıklarının değerlendirilmesinde de uzmanlara destek sağlayabilecek bir bilgi altyapısı oluşturabilir. Ancak nihai kimlik veya özgünlük tespiti tek başına otomatik eşleştirme sonucuna dayandırılmamalıdır.

Bu değerlendirmeler sonucunda çalışmanın önerdiği modelin temel katkısı, “görmek” ile “malzemeyi bilimsel olarak tanımak” arasındaki bilgi boşluğunu azaltmaya yönelik bir veri bütünleştirme yaklaşımı sunmasıdır. Görüntü işleme “nerede değişim olabilir?” sorusuna yardımcı olurken, uygun bilimsel analizler “malzeme hakkında hangi ek bilgiler elde edilebilir?” sorusuna katkı sağlayabilir. Uzman değerlendirmesi ise bu verilerin kültürel mirasın tarihsel ve koruma bağlamındaki anlamını belirler.

Modelin sınırlılıkları da bulunmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin güvenilirliği kullanılan veri setine bağlıdır. Nükleer veya diğer analitik tekniklerin tüm kültür varlıklarına aynı şekilde uygulanması mümkün değildir. Bazı yöntemler özel laboratuvar altyapısı ve uzmanlık gerektirir. Ayrıca kültür varlıklarının özgünlüğü ve fiziksel bütünlüğü nedeniyle analiz yönteminin seçimi koruma etiği çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Dolayısıyla önerilen modelin gelecekte gerçek kültür varlıkları üzerinde kontrollü pilot çalışmalarla sınanması gerekmektedir. Bu çalışma modelin deneysel doğruluğunu kanıtladığını ileri sürmemekte, yöntemlerin hangi aşamalarda birbirini tamamlayabileceğini gösteren kavramsal bir araştırma çerçevesi önermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kültürel mirasın sürdürülebilir biçimde korunması, yalnızca tarihî yapıların ve kültür varlıklarının fiziksel varlığının devam ettirilmesiyle sınırlı değildir. Kültür varlıklarının doğru belgelenmesi, malzeme özelliklerinin anlaşılması, özgünlük ve provenans bilgilerinin araştırılması, değişimlerinin izlenmesi ve elde edilen verilerin gelecek kuşaklara aktarılacak biçimde saklanması da koruma sürecinin önemli bileşenleridir.

Bu çalışma, yapay zekâ destekli görüntü analizi, dijital belgeleme ve uygun nükleer analitik tekniklerin kültürel mirasın korunmasında birbirlerini tamamlayan yöntemler olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu yöntemlerin birlikte ele alınmasının temel amacı, teknolojik araçların sayısını artırmak değil, farklı veri türlerinin aynı koruma problemi etrafında ilişkilendirilmesini sağlamaktır.

Görüntü işleme ve yapay zekâ destekli analizler kültür varlıklarının belgelenmesi, farklı dönemlere ait görüntülerin karşılaştırılması ve büyük dijital veri kümelerinin incelenmesi açısından destek sağlayabilir. Nükleer ve ilişkili analitik teknikler ise uygun araştırma soruları çerçevesinde kültür varlıklarının malzeme özelliklerinin, üretim tekniklerinin ve provenans bilgilerinin araştırılmasına bilimsel katkı sunabilir.

Çalışmada önerilen bütünleşik model; belgeleme, yapay zekâ destekli görüntü analizi, uzman doğrulaması, seçici bilimsel malzeme analizi ve bütünleşik dijital karar desteği aşamalarından oluşmaktadır. Modelde teknolojik araçlar uzman bilgisinin yerine geçirilmemektedir. Nihai koruma kararlarının kültürel mirasın tarihsel değeri, özgünlüğü, malzeme özellikleri ve koruma etiği dikkate alınarak ilgili disiplinlerin uzmanları tarafından verilmesi öngörülmektedir.

Hasankeyf, modelin potansiyel kullanımını açıklamak amacıyla önerisel bir uygulama alanı olarak değerlendirilmiştir. Hasankeyf gibi çevresel koşulları önemli ölçüde değişmiş kültürel miras alanlarında geçmiş dönemlere ait güvenilir görsel ve mekânsal kayıtların güncel verilerle

ilişkilendirilmesi, kültür varlıklarında zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin daha sistematik biçimde araştırılmasına katkı sağlayabilir.

Bununla birlikte çalışma kapsamında Hasankeyf'te deneysel görüntü analizi veya nükleer analiz gerçekleştirilmemiştir. Dolayısıyla önerilen modelin Hasankeyf'teki hasarı tespit ettiği veya koruma başarısını artırdığı yönünde bir sonuç ileri sürülmemektedir. Model, gelecekte gerçekleştirilecek disiplinler arası çalışmalar için sınanabilir bir araştırma önerisi niteliğindedir. Gelecekteki araştırmalarda modelin kontrollü pilot çalışmalarla değerlendirilmesi önerilmektedir. Aynı kültür varlığına ait farklı tarihlerde oluşturulmuş yüksek çözünürlüklü görüntüler karşılaştırılabilir; yapay zekâ tarafından belirlenen değişimler uzmanlarca doğrulanabilir ve bilimsel olarak gerekli görülen noktalarda uygun malzeme analizlerinden elde edilen veriler görsel sonuçlarla birlikte değerlendirilebilir.

Ayrıca kültür varlıklarına ilişkin görüntü, malzeme karakterizasyonu, restorasyon geçmişi ve provenans verilerinin ilişkilendirilebildiği sürdürülebilir dijital envanterlerin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Böyle bir sistem kültür varlıklarının yalnızca korunmasını değil, uzun dönemli izlenmesini ve izlenebilirliğinin güçlendirilmesini de destekleyebilir.

Sonuç olarak yapay zekâ, görüntü işleme ve nükleer analitik teknikler kültürel miras alanında birbirinden bağımsız teknolojik çözümler olarak değil, uzman bilgisini destekleyen disiplinler arası bir karar destek sisteminin bileşenleri olarak değerlendirilmelidir. Kültürel mirasın sürdürülebilir korunmasında asıl değer, teknolojinin uzmanlığın yerine geçmesinde değil; bilimsel veriyi, dijital kayıtları ve uzman bilgisini daha güçlü biçimde bir araya getirmesinde bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

Belge, B., Topcu Campagna, H., & Tuna, N. (2024). Hasankeyf Yukarı Şehir yerleşim dokusu, yaşam birimleri ve kültür envanteri. *GRID - Architecture Planning and Design Journal*, 7(1), 184–222. <https://doi.org/10.37246/grid.1293889>

ICOMOS. (1964). *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter)*. International Council on Monuments and Sites.

International Atomic Energy Agency [IAEA]. (2011). *Nuclear techniques for cultural heritage research*. IAEA Radiation Technology Series No. 2. Vienna: International Atomic Energy Agency.

Mishra, M., & Lourenço, P. B. (2024). Artificial intelligence-assisted visual inspection for cultural heritage: State-of-the-art review. *Journal of Cultural Heritage*, 66, 536–550. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.01.005>

UNESCO. (1970). *Convention on the Means of Prohibiting and Preventing the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property*. Paris: UNESCO.

UNESCO. (1972). *Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*. Paris: UNESCO.

UNESCO. (2021). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. Paris: UNESCO.

SÜRDÜRÜLEBİLİR KÜLTÜREL MİRASIN GÖRÜNMEYEN KORUYUCULARI: İSTANBUL BALAT ÇAVUŞ HAMAMI ÜZERİNDEN KADIN MEKÂNLARI VE SÖZLÜ TARİH

Pınar SEZER

İç Mimar – Bağımsız Araştırmacı

ORCID: 0009-0002-4214-9404

ÖZET

Kültürel mirasın korunmasına yönelik güncel yaklaşımlar, tarihî yapıların yalnızca fiziksel olarak onarılmasını değil; bu yapılarda şekillenen yaşam kültürünün, toplumsal belleğin, geleneksel bilginin ve kuşaktan kuşağa aktarılan kullanım pratiklerinin de sürdürülebilir biçimde gelecek nesillere aktarılmasını gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda somut kültürel miras ile somut olmayan kültürel miras, birbirini tamamlayan ve birlikte korunması gereken değerler olarak öne çıkmaktadır.

İstanbul'un Fatih ilçesinde yer alan Balat Çavuş Hamamı, bu çalışmada tarihî kadın mekânlarını anlamaya yönelik bir örnek olay olarak ele alınmaktadır. Çalışmada “kadın mekânları” kavramı; tarih boyunca kadınların bir araya geldiği, deneyimlerini paylaştığı, geleneklerini yaşattığı ve sözlü kültürü kuşaktan kuşağa aktardığı fiziksel ve sosyal yaşam alanlarını ifade etmektedir. Hamamlar, yalnızca temizlik işlevi gören yapılar değil; dayanışmanın, ritüellerin, geleneklerin ve toplumsal hafızanın yaşatıldığı önemli kamusal mekânlar olarak değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda Balat Çavuş Hamamı üzerinden hamam kültürü; sözlü tarih anlatıları, geleneksel ritüeller, gündelik bakım pratikleri ve kuşaktan kuşağa aktarılan kullanım bilgileri çerçevesinde incelenmektedir. Balat Çavuş Hamamı örneğinden hareketle; avlular, ocak başları, çeşme başları, mutfak ve kilerler, geleneksel doğum mekânları ile kadınların bir araya geldiği diğer tarihî yaşam mekânları da kültürel aktarımın gerçekleştiği alanlar bağlamında değerlendirilmektedir. Bu mekânlarda sürdürülen gündelik pratiklerin, yalnızca toplumsal yaşamın devamlılığına değil, aynı zamanda somut olmayan kültürel mirasın korunmasına da katkı sağladığı ele alınmaktadır.

Bu çerçevede, kadınların tarih boyunca üstlendikleri bakım, kullanım ve kültürel aktarım pratiklerinin sürdürülebilir kültürel mirasın devamlılığına sağladığı katkının görünür kılınması amaçlanmaktadır. Çalışma, kültürel mirasın sürdürülebilirliğinin yalnızca yapıların fiziksel varlığının korunmasıyla değil; bu yapılara anlam kazandıran sözlü kültürün, geleneklerin ve toplumsal hafızanın yaşatılmasıyla mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir kültürel miras, sözlü tarih, kadın mekânları, toplumsal hafıza, restorasyon.

INVISIBLE GUARDIANS OF SUSTAINABLE CULTURAL HERITAGE: WOMEN'S SPACES AND ORAL HISTORY — THE CASE OF THE BALAT ÇAVUŞ BATHHOUSE, ISTANBUL

ABSTRACT

Contemporary approaches to cultural heritage conservation require not only the physical restoration of historic structures but also the sustainable transmission of the living culture, collective memory, traditional knowledge, and intergenerational practices associated with these places. In this context, tangible cultural heritage and intangible cultural heritage are recognized as complementary values that should be safeguarded together.

Located in the Fatih district of Istanbul, the Balat Çavuş Bathhouse is examined in this study as a case study for understanding historical women's spaces. The concept of "women's spaces" refers to the physical and social environments where women historically gathered, shared experiences, preserved traditions, and transmitted oral culture across generations. Historical bathhouses are therefore considered not merely as places for bathing and hygiene but also as significant public spaces where solidarity, rituals, traditions, and collective memory have been sustained.

Within this framework, the cultural significance of the Balat Çavuş Bathhouse is examined through oral history narratives, traditional rituals, daily maintenance practices, and intergenerational knowledge transmission. Drawing on the example of the Balat Çavuş Bathhouse, other historical spaces where women traditionally gathered—such as courtyards, hearth areas, fountain spaces, kitchens, pantries, traditional childbirth spaces, and similar communal settings—are also considered as places of cultural transmission. The study argues that the everyday practices maintained in these spaces contribute not only to the continuity of social life but also to the safeguarding of intangible cultural heritage.

In this respect, it seeks to highlight the contribution of women's historical roles in maintenance, use, and cultural transmission to the continuity of sustainable cultural heritage. It concludes that the sustainability of cultural heritage depends not only on preserving the physical fabric of historic buildings but also on safeguarding the oral traditions, cultural practices, and collective memory that give these places their meaning.

Keywords: Sustainable cultural heritage, oral history, women's spaces, collective memory, restoration.

GİRİŞ

Kültürel mirasın korunmasına yönelik güncel yaklaşımlar, tarihî yapıların yalnızca fiziksel varlığının sürdürülmesini değil, bu yapılara zaman içerisinde anlam kazandıran toplumsal ve kültürel değerlerin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Yapıların mimari özellikleri, malzemeleri ve mekânsal organizasyonları somut kültürel mirasın temel bileşenlerini oluştururken; gündelik yaşam pratikleri, gelenekler, sözlü aktarımlar, kullanıcı deneyimleri ve kuşaklar arasında aktarılan bilgiler kültürel mirasın somut olmayan boyutuyla ilişkilendirilebilmektedir.

UNESCO'nun 2003 tarihli Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi, somut olmayan kültürel mirasın kuşaktan kuşağa aktarılan uygulamalar, temsiller, anlatımlar, bilgiler ve becerilerden oluşabileceğini; sözlü gelenekler ve anlatımların da bu mirasın temel alanlarından biri olduğunu belirtmektedir (UNESCO, 2003). Bu yaklaşım, kültürel mirasın yalnızca fiziksel bir geçmiş kalıntısı olarak değil, insan ve mekân arasındaki ilişkinin devamlılığı içerisinde değerlendirilmesine imkân vermektedir.

Tarihî hamamlar, somut ve somut olmayan kültürel miras arasındaki ilişkinin incelenebileceği önemli mekânlardır. Mimari düzenleri ve yapı özellikleriyle somut kültürel mirasın bir parçası olan hamamlar, aynı zamanda tarihsel süreçte temizlik, sosyalleşme ve çeşitli gündelik pratiklerle ilişkilendirilmiştir. Osmanlı hamam kültürüne ilişkin çalışmalar, hamamların özellikle kadınların sosyal yaşamında da belirli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Akbulut (2024), Osmanlı arşiv belgelerinden hareketle hamamların temizlik işlevinin yanında kadınların sosyalleşme alanlarından biri olduğunu ortaya koymaktadır. Coşkun Albayrak (2021) ise XVIII. yüzyıl İstanbul'unda hamam işletmeciliği yapan sekiz kadına ait tereke

kayıtlarını inceleyerek kadınların hamamlarla yalnızca kullanıcı olarak değil, ekonomik faaliyetler üzerinden de ilişki kurabildiklerini göstermektedir.

Bu çalışmanın odağında İstanbul'un Fatih ilçesinde bulunan tarihî Balat Hamamı yer almaktadır. Eyice (1992), yapıyı Balat semtinde bulunan XV. yüzyıla ait tarihî bir hamam olarak tanımlamaktadır. Aynı kaynakta yapının yakın tarihlerde "Çavuş Hamamı" olarak da adlandırıldığı, ancak bu adlandırmanın doğru olmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle çalışmada kongreye sunulan bildirinin özgün başlığındaki "Balat Çavuş Hamamı" ifadesi korunmakla birlikte, tarihsel bilgiler aktarılırken kaynaklarda kullanılan "Balat Hamamı" adı esas alınmaktadır (Eyice, 1992).

Çalışmanın amacı, Balat Hamamı örneğinden hareketle tarihî mekânların sürdürülebilir korunmasında fiziksel değerlerin yanı sıra gündelik yaşam, kullanıcı deneyimleri, toplumsal hafıza ve kuşaklar arası kültürel aktarımın taşıdığı öneme dikkat çekmektir. Çalışmada kadınlar kültürel mirasın tek veya ayrıcalıklı taşıyıcıları olarak değil, belirli tarihsel bağlamlarda hamam kültürünün kullanıcıları ve aktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Başlıkta kullanılan "görünmeyen koruyucular" kavramı da kadınların tarihsel olarak profesyonel restoratörler olduğu yönünde bir iddia taşımamakta; gündelik kullanım, bakım ve kültürel aktarımın tarihî mekânların toplumsal sürekliliğine sağlayabileceği katkıyı ifade eden kavramsal bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır.

YÖNTEM

Bu araştırma, nitel ve doküman incelemesine dayalı kavramsal bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Doküman incelemesi, araştırılan olgunun tarihsel ve toplumsal bağlamının farklı yazılı kaynaklar üzerinden değerlendirilmesine olanak sağlayan nitel araştırma yöntemlerinden biridir (Bowen, 2009).

Araştırmanın veri kaynaklarını Balat Hamamı'nın tarihsel özelliklerine, Osmanlı hamam kültürüne, kadınların hamamlarla ilişkisine, somut ve somut olmayan kültürel mirasa, sözlü aktarım ve toplumsal hafızaya ilişkin akademik ve kurumsal yayınlar oluşturmaktadır. İnceleme; Balat Hamamı'nın tarihsel-mekânsal bağlamı, kadınların tarihî hamam kültüründeki rolleri ve kuşaklar arası kültürel aktarımın sürdürülebilir miras açısından değerlendirilmesi olmak üzere üç temel eksende yürütülmüştür.

Araştırmanın kapsamına ilişkin önemli bir metodolojik sınırlılık bulunmaktadır: Bu çalışma kapsamında özgün sözlü tarih görüşmeleri gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle çalışma, Balat Hamamı'na ilişkin yeni bir sözlü tarih veri seti sunduğunu ileri sürmemektedir. Oral History Association'ın ilkelerine göre sözlü tarih; hazırlık, görüşme, kayıt, koruma ve erişim gibi belirli yöntemsel ve etik süreçler gerektirmektedir (Oral History Association, 2018). Bu çalışmada sözlü tarih, kullanıcı deneyimlerinin ve kişisel anlatıların kültürel miras araştırmalarına gelecekte sağlayabileceği katkının tartışıldığı kavramsal bir çerçevede ele alınmaktadır.

Ayrıca genel Osmanlı hamam kültürüne ilişkin bilgiler ile Balat Hamamı'na özgü veriler birbirinden ayrılmıştır. Genel literatürde belirlenen bir uygulamanın Balat Hamamı'nda da gerçekleştiğini gösteren özgül bir kanıt bulunmadıkça söz konusu uygulama doğrudan bu yapıya atfedilmemiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Balat Hamamı ve Tarihî Hamam Kültürü

Balat Hamamı, İstanbul'un tarihî yerleşim alanlarından Balat'ta bulunan erken tarihli Osmanlı hamamlarından biridir. Eyice (1992), yapıyı XV. yüzyıla tarihlendirmekte ve Haliç kıyısındaki Balat semtinde, Ferruh Kethüdâ Camii yanında bulunduğunu belirtmektedir. Yapının tarihsel

önemine ilişkin değerlendirmelerde, İstanbul'un eski hamamlarından biri olması öne çıkmaktadır.

Hamamların kültürel anlamı yalnızca mimari özellikleri üzerinden değerlendirilemez. Osmanlı hamam kültürüne ilişkin literatür, bu yapıların temizlik işlevinin yanında sosyal yaşamla da ilişkili olduğunu göstermektedir. Boyar ve Fleet (2010), Osmanlı İstanbul'unun sosyal tarihini ele alan çalışmalarında hamamları kent yaşamının gündelik ve toplumsal mekânlarından biri olarak incelemektedir. Akbulut (2024) da Osmanlı arşiv belgelerine dayanarak hamamların kadınların uğrak ve sosyalleşme alanlarından biri olduğunu belirtmekte; aynı zamanda kadınların hamamlara ulaşım ve giriş-çıkış süreçlerinde karşılaştıkları çeşitli güvenlik sorunlarını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla tarihî hamam deneyiminin yalnızca idealize edilmiş bir sosyalleşme ortamı olarak değerlendirilmemesi, dönemin toplumsal koşulları içerisinde ele alınması gerekmektedir.

Kadınların hamam kültüründeki rolleri yalnızca kullanıcı olmakla da sınırlı değildir. Coşkun Albayrak (2021), İstanbul Kısmet-i Askeriye Mahkemesi tereke kayıtlarından hareketle XVIII. yüzyılda İstanbul'da hamamcılık yapan sekiz kadını incelemektedir. Bu bulgu, belirli tarihsel örneklerde kadınların hamamlarla ekonomik ve mesleki ilişkiler de kurabildiklerini göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu bulguların bütün Osmanlı kadınlarına veya doğrudan Balat Hamamı'na genellenmesi mümkün değildir.

3.2. Kadın Mekânları, Gündelik Yaşam ve Görünmeyen Koruma

Tarihî bir yapının kültürel değeri, yalnızca fiziksel özellikleriyle değil, kullanıcıların mekânla kurduğu ilişkilerle de şekillenmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan "kadın mekânları" kavramı, kadınların belirli tarihsel bağlamlarda bir araya geldiği, gündelik pratiklerini gerçekleştirdiği ve sosyal ilişkiler geliştirdiği fiziksel ve sosyal çevreleri ifade etmektedir.

Hamam bu çevrelerden yalnızca biridir. Çalışmanın özetinde değinilen avlular, ocak ve çeşme başları, mutfak ve kilerler ile geleneksel doğum mekânları Balat Hamamı'nın mimari bölümleri olarak ileri sürülmektedir. Bu örnekler, kadınların tarihsel gündelik yaşamının hamamın ötesine uzanan daha geniş mekânsal bağlamını ifade etmek amacıyla kullanılmıştır.

Hamam dışındaki gündelik yaşam alanları da kadınların tarihsel mekân deneyiminin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Demir (2016), Osmanlı kadınlarının gündelik yaşam çevresini değerlendirirken mutfak, kuyubaşı ve avlu gibi mekânlara dikkat çekmektedir. Aynı çalışmada kadınların dikiş gibi bazı bilgi ve becerileri ev içerisindeki diğer kadınlardan öğrenmelerine ilişkin örnekler de kuşaklar ve kişiler arasındaki gündelik bilgi aktarımının önemini göstermektedir. Bu çerçevede avlu, su çevresi ve mutfak gibi alanlar yalnızca fiziksel işlevleri üzerinden değil, belirli tarihsel ve toplumsal bağlamlarda kadınların bir araya gelebildikleri, gündelik deneyim ve bilgilerin paylaşılabildiği yaşam çevreleri olarak da değerlendirilebilir (Demir, 2016). Bununla birlikte bu mekânsal ilişkilerin bütün Osmanlı kadınları, dönemleri ve coğrafyaları için aynı biçimde geçerli olduğu ileri sürülmemekte; söz konusu örnekler kadınların tarihsel mekân deneyiminin çeşitliliğini ortaya koyan sınırlı bir çerçevede ele alınmaktadır.

Bu alanların kullanım biçimleri dönem, coğrafya ve toplumsal çevreye göre değişebileceğinden, her birinin ayrı tarihsel kaynaklarla incelenmesi gerekmektedir.

Bu noktada çalışmanın başlığındaki "görünmeyen koruyucular" kavramının sınırları önem taşımaktadır. Kadınların gündelik temizlik veya bakım faaliyetlerini doğrudan restorasyon olarak tanımlamak bilimsel açıdan doğru olmayacaktır. Profesyonel restorasyon, belirli kuramsal, teknik ve mesleki ilkelere dayanan farklı bir koruma alanıdır. Buna karşılık gündelik

kullanımın, bakımın, geleneklerin sürdürülmesinin ve bilginin kuşaklar arasında aktarılmasının tarihî mekânların toplumsal sürekliliğine katkı sağlayabileceği düşünülebilir.

Dolayısıyla bu çalışmada kadınlar “ilk restoratörler” olarak tanımlanmamakta; belirli tarihsel bağlamlarda gündelik yaşam ve kültürel aktarım süreçlerine katılan toplumsal aktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım kadınları diğer toplumsal grupların üzerinde konumlandırmayı değil, fiziksel koruma anlatılarında daha az görünür kalabilen gündelik yaşam katmanına dikkat çekmeyi amaçlamaktadır.

3.3. Sözlü Kültür, Toplumsal Hafıza ve Kuşaklar Arası Aktarım

UNESCO’nun 2003 Sözleşmesi, somut olmayan kültürel mirasın kuşaktan kuşağa aktarımını temel özelliklerinden biri olarak tanımlamaktadır. Bu açıdan gelenekler, uygulamalar, bilgiler ve sözlü anlatımlar yalnızca geçmişe ait unsurlar değil, aktarım sürdüğü ölçüde yaşayan kültürel değerlerdir (UNESCO, 2003).

Ancak sözlü kültür ile araştırma yöntemi olarak sözlü tarih birbirinden ayrılmalıdır. Gündelik yaşam içerisinde kuşaktan kuşağa aktarılan bir anlatının bulunması, tek başına sözlü tarih araştırması yapıldığı anlamına gelmez. Sözlü tarih, belirli bir araştırma sorusu çerçevesinde görüşmelerin planlanmasını, kaydedilmesini, etik ilkelerin gözetilmesini ve ortaya çıkan kayıtların korunmasını gerektirir (Oral History Association, 2018).

Balat Hamamı açısından bu ayrım özellikle önemlidir. Mevcut çalışmada eski kullanıcılarla görüşme yapılmadığından, kişisel hatıralara ilişkin doğrulanmamış anlatılar tarihsel veri olarak kullanılmamıştır. Bununla birlikte gelecekte Balat Hamamı’nı kullanmış kişilere ulaşılabilmesi durumunda etik ilkelere uygun sözlü tarih görüşmeleri; arşiv belgeleri, tarihsel fotoğraflar ve diğer kaynaklarla birlikte değerlendirilerek yapının sosyal tarihinin anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Bu yaklaşım, özellikle fiziksel kaynakların tek başına açıklayamadığı kullanıcı deneyimlerinin araştırılmasına imkân verebilir. Ancak kişisel hatıralar doğrulanmış tarihsel belgelerin yerine geçirilmemeli; farklı kaynaklarla karşılaştırılarak eleştirel biçimde değerlendirilmelidir.

3.4. Somut ve Somut Olmayan Mirasın Birlikte Değerlendirilmesi

Sürdürülebilir kültürel miras yaklaşımı açısından fiziksel yapı ile ona zaman içerisinde anlam kazandıran toplumsal ve kültürel değerlerin birbirinin alternatifi olmadığı kabul edilmelidir. UNESCO’nun 2003 Sözleşmesi de somut olmayan kültürel mirası tanımlarken uygulamalar, bilgiler ve becerilerin yanı sıra bunlarla ilişkili kültürel mekânlara yer vermektedir (UNESCO, 2003).

Bu yaklaşım fiziksel korumanın önemini azaltmamaktadır. Tarihî yapının malzemesi, mimari özellikleri ve mekânsal bütünlüğünün korunması temel öneme sahiptir. Buna karşılık yapının geçmiş kullanımlarına, kullanıcılarına ve toplumsal anlamlarına ilişkin doğrulanabilir bilgilerin belgelenmesi, fiziksel korumayı tamamlayan bir bilgi katmanı sağlayabilir.

Balat Hamamı açısından da yapı ile yaşam kültürü arasındaki ilişki bu çerçevede değerlendirilebilir. Yapının fiziksel özellikleri somut kültürel mirası temsil ederken, daha geniş Osmanlı hamam literatüründe görülen kullanım biçimleri ve sosyal ilişkiler yapının ait olduğu tarihsel kültür çevresini anlamaya yardımcı olmaktadır. Ancak bu genel uygulamalar, Balat Hamamı’na özgü kanıt bulunmadıkça doğrudan yapıya atfedilmemelidir.

Bu nedenle sürdürülebilir koruma, fiziksel yapının korunması ile tarihsel ve kültürel anlamlarının araştırılması arasında dengeli bir ilişki kurulmasını gerektiren çok katmanlı bir süreç olarak değerlendirilebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Balat Hamamı örneğinden hareketle sürdürülebilir kültürel mirasın yalnızca fiziksel yapı üzerinden değil, yapı ile insan arasındaki tarihsel ve toplumsal ilişkiler dikkate alınarak değerlendirilmesinin önemine dikkat çekmektedir.

Literatür, Osmanlı hamamlarının temizlik işlevinin yanında sosyal yaşamla ilişkili mekânlar olduğunu ve kadınların belirli tarihsel bağlamlarda bu yapılarla kullanıcı ve bazı örneklerde işletmeci olarak ilişki kurduklarını göstermektedir. Bununla birlikte bu veriler bütün kadınlara, bütün dönemlere veya doğrudan Balat Hamamı'na genellenmemelidir.

Çalışmanın başlığında kullanılan “görünmeyen koruyucular” kavramı, kadınların profesyonel restoratör oldukları anlamına gelmemektedir. Kavram; gündelik kullanımın, bakımın ve kültürel aktarımın tarihî mekânların toplumsal sürekliliğine sağlayabileceği katkıyı görünür kılmak amacıyla kullanılmıştır. Böylelikle profesyonel restorasyon ile gündelik bakım arasında kavramsal bir eşitlik kurulmasından kaçınılmıştır.

Araştırmanın temel sınırlılıklarından biri, Balat Hamamı'na ilişkin özgün sözlü tarih görüşmelerinin gerçekleştirilmemiş olmasıdır. Gelecekte eski kullanıcıların tespit edilmesi durumunda etik ilkelere uygun sözlü tarih görüşmelerinin yapılması; elde edilen anlatıların arşiv belgeleri, tarihsel fotoğraflar ve diğer kaynaklarla karşılaştırılması önerilmektedir. Ayrıca yapının güncel fiziksel durumunun mimari belgeleme ve saha çalışmalarıyla incelenmesi, fiziksel ve toplumsal verilerin birlikte değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Çalışmada daha geniş kadın mekânları bağlamında değinilen avlu, çeşme başı, mutfak, kiler ve geleneksel doğum mekânları da gelecekte bağımsız çalışmaların konusu olabilir. Bu mekânların her biri kendi dönemselsel ve toplumsal bağlamı içerisinde araştırılmalı ve tek bir tarihsel kadın deneyimi altında genelleştirilmemelidir.

Sonuç olarak Balat Hamamı üzerinden geliştirilen değerlendirme, yapı, insan ve hafıza arasındaki ilişkinin kültürel mirasın anlaşılmasında tamamlayıcı bir çerçeve sunabileceğini ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir koruma; tarihî yapının fiziksel varlığının korunmasının yanı sıra yapının tarihsel kullanımlarına, kullanıcı deneyimlerine ve kültürel anlamlarına ilişkin doğrulanabilir bilgilerin araştırılması, belgelenmesi ve gelecek kuşaklara aktarılmasını da dikkate alan bütüncül bir süreç olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Akbulut, M. (2024). Başbakanlık Osmanlı arşiv belgeleri bağlamında hamam ve kadın olgusu üzerine. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 132–147.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40.
- Boyar, E., & Fleet, K. (2010). *A Social History of Ottoman Istanbul*. Cambridge University Press.
- Coşkun Albayrak, G. (2021). Osmanlı'da kadın işletmeciler: 18. yüzyılda İstanbul'un kadın hamamcıları. *Cihannüma Tarih ve Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 55–100.
- Demir, M. (2016). Osmanlı kadınları arasında modanın yaygınlaşmasında bir araç olarak bıçkidiş. *Bartın Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 1(2), 71–90.
- Eyice, S. (1992). Balat Hamamı. *TDV İslâm Ansiklopedisi* (Cilt 5, s. 8). Türkiye Diyanet Vakfı.
- Oral History Association. (2018). *Principles and Best Practices for Oral History*. Oral History Association.
- UNESCO. (2003). *Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage*. UNESCO.

TARİHÎ LİMANDAN KAMUSAL YAŞAMA: GALATAPORT, NUSRETIYE CAMİİ, KILIÇ ALİ PAŞA KÜLLİYESİ VE TOPHANE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL MİRAS

Pınar SEZER

İç Mimar, Bağımsız Araştırmacı

ORCID ID: 0009-0002-4214-9404

ÖZET

Tarihî liman bölgeleri, yalnızca deniz ulaşımının ve ticaretin yürütüldüğü alanlar değil; farklı dönemlerin mimari, toplumsal, ekonomik ve kültürel katmanlarını bir araya getiren önemli kent hafızası mekânlarıdır. İstanbul'un Haliç ile Boğaziçi arasında stratejik bir konumda yer alan Tophane, liman faaliyetleri, askerî yapıları, vakıf eserleri, ibadet mekânları ve meydanlarıyla yüzyıllar boyunca gelişen çok katmanlı bir kentsel doku oluşturmuştur. XVI. yüzyılda inşa edilen Kılıç Ali Paşa Külliyesi ile XIX. yüzyılda inşa edilen Nusretiye Camii, bölgenin denizcilik, vakıf sistemi ve kamusal yaşamla kurduğu tarihsel ilişkinin günümüze ulaşan önemli temsilcileridir.

Günümüzde Galataport projesiyle Tophane kıyısı, kruvaziyer limanı işlevini korurken alışveriş, gastronomi, müzecilik, kültür-sanat etkinlikleri ve kamusal kullanımı barındıran yeni bir kentsel katman hâline gelmiştir. Kruvaziyer gemileriyle gelen ziyaretçiler; tarihî yapılar, müzeler, sergi alanları ve ticari mekânlar arasında bütünleşik bir kent deneyimi yaşayabilmektedir.

Bu çalışmada, Tophane kıyısındaki tarihî liman kimliği ile güncel kent yaşamı arasındaki ilişki Galataport, Nusretiye Camii ve Kılıç Ali Paşa Külliyesi odağında ele alınmaktadır. Araştırmada literatür incelemesi, tarihsel kaynakların değerlendirilmesi ve mekânsal ilişkileri anlamaya yardımcı olan destekleyici bir yöntem olarak yerinde gözlem kullanılmıştır.

Çalışma, Galataport ve çevresindeki dönüşümün kıyı alanını yaya kullanımıyla ilişkilendirmesi, kruvaziyer limanı işlevini sürdürmesi ve kültürel faaliyetleri barındırması açısından mekânsal bir katman oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte sürdürülebilir kentsel mirasın yalnızca fiziksel restorasyonla sınırlı olmadığı; kamusal erişilebilirliğin niteliğinin gözetilmesi, tarihî yapıların özgün kimliğinin yaşatılması, farklı kullanıcı ilişkilerinin eleştirel biçimde değerlendirilmesi ve liman hafızasının gelecek kuşaklara aktarılmasıyla mümkün olacağı vurgulanmaktadır.

Sonuç olarak Tophane; tarihî liman kimliği, vakıf eserleri, kültürel kurumları ve güncel kamusal kullanımlarıyla geçmiş ile geleceği buluşturan yaşayan bir kentsel miras alanıdır. Bölgenin sürdürülebilirliği ise tarihî yapıların tek tek korunmasının ötesinde, kıyı, liman, tarihî yapılar, kültürel yaşam ve toplumsal belleğin birlikte ele alınmasına bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Tophane, tarihî liman, kruvaziyer turizmi, kamusal alan, sürdürülebilir kentsel miras.

FROM A HISTORIC PORT TO PUBLIC LIFE: SUSTAINABLE URBAN HERITAGE IN TOPHANE THROUGH GALATAPORT, NUSRETIYE MOSQUE AND THE KILIÇ ALI PAŞA COMPLEX

ABSTRACT

Historic port areas are not merely places where maritime transportation and trade take place; they are also important urban memory spaces that bring together the architectural, social, economic, and cultural layers of different historical periods. Located at a strategic point between the Golden Horn and the Bosphorus, Tophane has developed into a multi-layered urban

landscape through its port activities, military structures, waqf (foundation) monuments, religious buildings, and public squares. Built in the sixteenth century, the Kılıç Ali Paşa Complex, together with the nineteenth-century Nusretiye Mosque, represents the historical relationship between maritime culture, the waqf system, and public life.

Today, with the Galataport project, the Tophane waterfront has evolved into a new urban layer that combines its cruise port function with shopping, gastronomy, museums, cultural events, and public open spaces. Visitors arriving by cruise ships can experience an integrated urban environment where historic monuments, museums, exhibition spaces, and commercial areas coexist.

This study examines the relationship between the historic port identity of the Tophane waterfront and contemporary urban life through Galataport, Nusretiye Mosque, and the Kılıç Ali Paşa Complex. The research is based on a literature review, historical sources, and on-site observations used as a supportive method to understand spatial relationships.

The study argues that the transformation associated with Galataport has introduced a new spatial layer to the Tophane waterfront by reconnecting the waterfront with pedestrian use, maintaining the cruise port function, and accommodating cultural activities. However, it emphasizes that sustainable urban heritage cannot be measured solely by physical restoration; it also depends on considering the quality of public accessibility, preserving the authentic identity of historic monuments, critically evaluating diverse user relations, and transmitting the port memory to future generations.

As a result, Tophane represents a living urban heritage area where the historic port identity, waqf monuments, cultural institutions, and contemporary public life coexist. Its sustainability depends not only on preserving individual historic buildings but also on safeguarding the waterfront, the port, historic structures, cultural life, and collective memory as an integrated whole.

Keywords: Tophane, historic port, cruise tourism, public space, sustainable urban heritage.

1. GİRİŞ

Kentsel kültürel mirasın korunması, tarihî yapıların yalnızca fiziksel varlıklarının sürdürülmesiyle sınırlı olmayan; yapıların içerisinde bulunduğu tarihsel çevreyi, kamusal yaşamı, toplumsal ilişkileri ve zaman içerisinde gerçekleşen kentsel dönüşümleri de dikkate alan çok katmanlı bir süreçtir. Özellikle tarihî kent merkezlerinde koruma ve güncel kullanım arasındaki ilişkinin kurulması, geçmişten devralınan değerlerin korunması ile değişen kentsel gereksinimlerin karşılanması arasında dengeli bir yaklaşımı gerekli kılmaktadır. UNESCO'nun Tarihî Kentsel Peyzaj yaklaşımı da kentsel mirasın daha geniş kentsel bağlam içerisinde ele alınmasını ve koruma politikalarının sürdürülebilir kentsel gelişme süreçleriyle ilişkilendirilmesini önermektedir (UNESCO, 2011).

Bu çerçevede sürdürülebilir kentsel miras, tarihî çevrenin değişime tamamen kapatılması anlamına gelmemektedir. Bunun yerine farklı dönemlerde oluşmuş tarihsel, mimari, toplumsal ve kültürel katmanların tanınması; yeni kullanımların mevcut miras değerleriyle kurduğu ilişkinin değerlendirilmesi ve tarihî çevrenin güncel kent yaşamıyla ilişkisinin korunması önem taşımaktadır. Tarihî Kentsel Peyzaj yaklaşımı, tekil anıtların korunmasının ötesine geçerek kentsel mirası daha geniş bir çevresel ve toplumsal bağlam içerisinde ele almaya imkân vermektedir (UNESCO, 2011).

İstanbul'un tarihsel gelişiminde liman ve kıyı alanları, kentin denizle kurduğu ilişkinin önemli bileşenlerinden biri olmuştur. Tophane de farklı dönemlerde liman faaliyetleri, askerî üretim, dinî yapılar, ulaşım ve gündelik kent yaşamıyla ilişki kurmuş çok katmanlı bir kentsel çevredir.

Günümüzde Kılıç Ali Paşa Külliyesi ve Nusretiye Camii gibi farklı dönemlere ait tarihî yapılar ile Galataport kapsamında gerçekleştirilen güncel kıyı düzenlemeleri aynı kentsel çevre içerisinde bulunmaktadır. Bu birliktelik, Tophane’yi tarihî çevrenin korunması ile çağdaş kentsel kullanım arasındaki ilişkinin incelenebileceği önemli bir çalışma alanı hâline getirmektedir.

Kılıç Ali Paşa Külliyesi ve Nusretiye Camii, Tophane’nin tarihsel kimliğinin okunmasında önemli mimari referanslardır. Kılıç Ali Paşa Külliyesi’nin tarihsel olarak kıyı ve iskeleyle kurduğu ilişki, Tophane’nin denizle bağlantılı gelişimini anlamaya katkı sağlarken Nusretiye Camii, bölgenin sonraki dönemlerde geçirdiği mimari ve kentsel değişimin izlerinden birini oluşturmaktadır (Eyice, 2002; Eyice, 2007). Bu yapıların günümüzde değişen kıyı kullanımları içerisinde varlıklarını sürdürmeleri, tarihî miras ile çağdaş kent yaşamı arasındaki ilişkinin yapı ölçeğinin yanı sıra kentsel çevre ölçeğinde de değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Tophane kıyısındaki güncel dönüşümün önemli bileşenlerinden biri Galataport’tur. Kruvaziyer limanı işlevinin yanı sıra ticaret, kültür, turizm ve kamusal kullanımlarla ilişkilendirilen kıyı düzenlemesi, tarihsel olarak liman faaliyetleriyle biçimlenen alanın güncel kent yaşamındaki konumunu yeniden değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte büyük ölçekli kentsel dönüşümlerin yalnızca fiziksel yenilenme veya ekonomik işlevler üzerinden değerlendirilmesi yeterli değildir. Kamusal erişilebilirlik, tarihî çevreyle kurulan ilişki, farklı kullanıcıların alanla etkileşimi ve liman kimliğinin okunabilirliği de sürdürülebilir kentsel miras açısından dikkate alınması gereken unsurlardır.

Bu çalışmanın amacı, Tophane’nin tarihî liman kimliğini Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii ve Galataport üzerinden inceleyerek bölgenin geçmişten günümüze geçirdiği dönüşümü sürdürülebilir kentsel miras bağlamında değerlendirmektir. Tarihî yapılar ile güncel kıyı kullanımları birbirlerinin alternatifi olarak değil, farklı dönemlerde oluşmuş kentsel katmanların parçaları olarak ele alınmaktadır. Bu doğrultuda koruma, kamusal erişim, turizm, kültürel yaşam ve tarihî liman kimliği arasındaki ilişki tartışılmaktadır.

Çalışma, Galataport’un bölge üzerindeki etkilerini kesin bir başarı veya başarısızlık ölçütü üzerinden değerlendirmeyi amaçlamamaktadır. Bunun yerine tarihî bir kıyı alanında gerçekleştirilen güncel dönüşümün mevcut kültürel miras değerleri ve kamusal yaşamla kurduğu ilişki incelenmektedir. Böylece Tophane örneği üzerinden sürdürülebilir kentsel mirasın yalnızca yapıların fiziksel korunmasıyla değil, tarihî çevrenin kimliği, kamusal kullanımı ve kent yaşamıyla ilişkisiyle birlikte değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde literatür incelemesi, tarihsel kaynakların değerlendirilmesi ve yerinde gözleme dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel inceleme alanını İstanbul’un Tophane kıyısı oluşturmakta; Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii ve Galataport bölgenin farklı dönemlerde şekillenen tarihî ve güncel kentsel katmanlarını değerlendirmek amacıyla ele alınmaktadır.

Literatür ve tarihsel kaynak incelemesi kapsamında Tophane’nin tarihî liman kimliği, bölgedeki anıtsal yapıların tarihsel özellikleri, kıyı alanının zaman içerisindeki dönüşümü, kamusal alan tartışmaları ve sürdürülebilir kentsel miras yaklaşımına ilişkin akademik ve kurumsal kaynaklardan yararlanılmıştır. Elde edilen bilgiler tarihî liman kimliği, mimari miras, kıyı kullanımı, kamusal alan ve sürdürülebilir kentsel miras olmak üzere birbiriyle ilişkili temalar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Çalışmanın kuramsal değerlendirme çerçevesinde UNESCO’nun 2011 tarihli Tarihî Kentsel Peyzaj yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, kentsel mirasın korunmasını tekil yapıların

fiziksel korunmasıyla sınırlandırmamakta; kentsel mirasın daha geniş fiziksel, toplumsal, kültürel ve ekonomik bağlamlarla birlikte değerlendirilmesine yönelik bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (UNESCO, 2011).

Yerinde gözlem aşamasında Tophane kıyısının güncel mekânsal kullanımı ile Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii ve Galataport'un yakın çevreleri arasındaki mekânsal ilişkiler incelenmiştir. Gözlem, ayrıntılı bir mimari belgeleme veya rölöve çalışması olarak değil; çalışma alanındaki kıyı kullanımı, yaya hareketleri, denizle görsel ilişki ve tarihî yapılar ile güncel düzenlemelerin mekânsal birlikteliğini anlamaya yardımcı olan destekleyici bir yöntem olarak kullanılmıştır.

Araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma kapsamında kullanıcılarla anket veya görüşme gerçekleştirilmemiş; ziyaretçi sayıları, ekonomik etkiler veya kullanıcı memnuniyetine ilişkin nicel veri üretilmemiştir. Bu nedenle Galataport'un yerel toplum, turizm veya ekonomik yaşam üzerindeki etkileri konusunda kesin ve genellenebilir sonuçlar ileri sürülmektedir. Yerinde gözlemden elde edilen değerlendirmeler de belirli bir çalışma alanına ilişkin nitel gözlemlerle sınırlandırılmıştır.

Bu doğrultuda çalışma, Galataport'u yalnızca olumlu veya olumsuz bir kentsel dönüşüm örneği olarak sınıflandırmak yerine Tophane'nin tarihî liman kimliği, mevcut mimari mirası, güncel kıyı kullanımı ve kamusal yaşam arasındaki ilişkiyi sürdürülebilir kentsel miras perspektifinden tartışan nitel bir değerlendirme olarak sınırlandırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Tophane'nin Tarihî Liman Kimliği

Tophane, İstanbul'un tarihsel gelişimi içerisinde deniz, askerî üretim faaliyetleri ve liman çevresiyle ilişkili kentsel alanlardan biridir. Semtin tarihsel kimliğinin şekillenmesinde Tophâne-i Âmire önemli bir yere sahiptir. Zengin (2012), İstanbul'daki önemli Osmanlı top döküm merkezlerinden biri olan Tophâne-i Âmire'nin fetihten kısa süre sonra Galata yakınında faaliyete geçtiğini belirtmektedir. Bölgede top dökümhanesi ile askerî kullanımlara ilişkin yapıların bulunması, Tophane'nin askerî ve üretim işlevleri doğrultusunda gelişmesine katkı sağlamıştır.

Tophane'nin kıyı ile kurduğu fiziksel ilişki tarih boyunca değişmiştir. Zengin (2012), 1745 yılında deniz tarafının doldurulmasıyla Tophane Meydanı'nın genişletildiğini aktarmaktadır. Bu tarihsel bilgi, bölgenin kıyı çizgisinin değişmez olmadığını ve farklı dönemlerde gerçekleştirilen müdahaleler sonucunda yeniden biçimlendiğini göstermektedir. Dolayısıyla günümüzde Tophane kıyısında gözlenen dönüşümün değerlendirilmesinde, alanın geçmişte de çeşitli fiziksel ve işlevsel değişikliklere sahne olduğu dikkate alınmalıdır.

Bölgenin deniz ve limanla ilişkisi Kılıç Ali Paşa Külliyesi'nin tarihsel konumunda da görülmektedir. Eyice (2002), külliyenin XVI. yüzyılda Mimar Sinan tarafından Tophane'de inşa edildiğini ve yapıldığı dönemde deniz kıyısında, önemli bir iskelenin yakınında bulunduğunu belirtmektedir. Bu tarihsel konum, külliyenin yalnızca bağımsız bir mimari yapı topluluğu olarak değil, dönemin kıyı ve ulaşım düzeniyle ilişkili bir kentsel unsur olarak değerlendirilmesine de imkân vermektedir.

Tophane'nin tarihsel dokusu sonraki dönemlerde yeni mimari ve askerî katmanların eklenmesiyle değişmeye devam etmiştir. Nusretiye Camii bu sürekliliğin önemli örneklerinden biridir. Eyice (2007), II. Mahmud tarafından yaptırılan caminin 1823–1826 yılları arasında inşa edildiğini ve Tophâne-i Âmire ile Tophane Kışlası'nın bulunduğu tarihsel çevreyle ilişkisini ortaya koymaktadır.

Bu veriler birlikte değerlendirildiğinde Tophane'nin kimliğini tek bir yapı veya dönem üzerinden açıklamanın yeterli olmadığı görülmektedir. Tophâne-i Âmire'nin üretim ve askerî işlevi, Kılıç Ali Paşa Külliyesi'nin tarihsel kıyı ilişkisi, Nusretiye Camii'nin XIX. yüzyılda bölgeye eklediği mimari katman ve kıyı çizgisinde zaman içerisinde meydana gelen değişimler, Tophane'nin çok katmanlı tarihsel karakterini ortaya koymaktadır. Günümüzde Galataport kapsamında gerçekleşen dönüşümün de bu tarihsel katmanların bulunduğu kentsel çevre içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2. Kılıç Ali Paşa Külliyesi ve Denizle Kurulan Tarihsel İlişki

Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Tophane'nin tarihî kıyı kimliğinin okunmasında önemli mimari referanslardan biridir. Eyice'ye (2002) göre külliye, Kaptanıderyâ Kılıç Ali Paşa tarafından Tophane'de kurulmuş ve Mimar Sinan tarafından inşa edilmiştir. Külliye; cami, medrese, hamam, türbe ve diğer birimleriyle tarihî bir yapı topluluğu niteliğindedir.

Çalışmanın konusu bakımından külliyenin tarihsel konumu özellikle önem taşımaktadır. Eyice (2002), yapının inşa edildiği dönemde deniz kıyısında ve önemli bir iskeleyle ilişkili konumda bulunduğunu belirtmektedir. Bu durum yapının tarihsel bağlamının yalnızca mimari özellikleri üzerinden değil, kıyı, ulaşım ve liman çevresiyle kurduğu mekânsal ilişki üzerinden de değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Külliye'nin günümüzdeki çevresi, yapıldığı dönemdeki kıyı koşullarından farklılaşmıştır. Tarihsel süreçte gerçekleştirilen kıyı düzenlemeleri ve kentsel müdahaleler sonucunda yapı ile deniz arasındaki fiziksel ilişkinin değişmesi, Tophane'nin dönüşen kıyı karakterinin okunabileceği örneklerden biridir. Bu nedenle Kılıç Ali Paşa Külliyesi'nin günümüzdeki konumu değerlendirilirken yapının başlangıçtaki kıyı ilişkisini de dikkate almak önemlidir (Eyice, 2002).

Bu değişim sürdürülebilir kentsel miras açısından da önem taşımaktadır. Tarihî bir yapının korunması yalnızca fiziksel varlığının sürdürülmesi üzerinden değerlendirildiğinde, yapının tarihsel olarak ilişki kurduğu kıyı, ulaşım ve çevresel bağlamın zaman içerisindeki değişimi yeterince görünür olmayabilir. Tarihsel mekânsal ilişkilerin araştırılması, günümüzdeki kentsel çevrenin geçmişteki kullanım ve konum özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Bu çerçevede Kılıç Ali Paşa Külliyesi, geçmişteki kıyı düzeninin günümüze değişmeden ulaşmış bir örneği olarak değil, Tophane'nin tarihsel deniz ve liman ilişkisinin anlaşılmasına yardımcı olan bir mimari referans olarak değerlendirilmektedir.

3.3. Nusretiye Camii ve Tophane'nin Değişen Kentsel Dokusu

Nusretiye Camii, Tophane'nin XIX. yüzyıldaki mimari ve kentsel dönüşümünün önemli yapılarından biridir. Eyice'ye (2007) göre II. Mahmud tarafından yaptırılan caminin inşasına 1823 yılında başlanmış ve yapı 1826 yılında tamamlanmıştır. Cami, geleneksel selâtin külliyelerinden farklı olarak Tophâne-i Âmire ve Tophane Kışlası gibi askerî yapıların bulunduğu bir çevrede konumlanmıştır.

Bu konum, Nusretiye Camii'nin yalnızca bağımsız bir ibadet yapısı olarak değil, Tophane'nin tarihsel askerî ve kamusal çevresinin bir bileşeni olarak değerlendirilmesine olanak vermektedir. Yapının tarihsel anlamının anlaşılmasında mimari özelliklerinin yanı sıra çevresindeki yapılar ve açık alanlarla kurduğu ilişkinin de dikkate alınması önem taşımaktadır (Eyice, 2007).

Tophane'nin fiziksel çevresi sonraki dönemlerde de değişmeye devam etmiştir. Gelmez ve Altıntaş (2018), Tophane çevresinin farklı dönemlerde geçirdiği dönüşümleri Nusretiye Saat Kulesi ve çevresindeki kentsel değişimler üzerinden değerlendirmektedir. Bölgedeki fiziksel

müdahaleler ve değişen kentsel ölçek, tarihî yapıların çevresel ilişkilerinin de zaman içerisinde farklılaşabildiğini göstermektedir.

Tophane'deki değişimin yalnızca yakın döneme ait olmadığı da görülmektedir. Uğurlu (2020), XIX. yüzyıl ortalarında Tophane'de gerçekleştirilen düzenlemeler kapsamında caddelerin, meydanların ve çevresel düzenlemelerin dönemin kentsel ve siyasal koşulları içerisinde yeniden ele alındığını göstermektedir. Bu tarihsel örnekler, Tophane'nin farklı dönemlerde çeşitli şehircilik müdahalelerine konu olduğunu ortaya koymaktadır.

Dolayısıyla Nusretiye Camii'nin günümüzdeki çevresi değişmez bir tarihsel mekânsal düzenin devamı olarak değerlendirilmemelidir. Yapının fiziksel varlığı sürerken çevresindeki açık alanlar, ulaşım düzeni, kıyı kullanımları ve yapılaşma farklı dönemlerde dönüşmüştür. Sürdürülebilir kentsel miras açısından tarihî yapının fiziksel korunmasının yanı sıra çevresiyle kurduğu tarihsel ve güncel ilişkilerin araştırılması da önem taşımaktadır.

3.4. Galataport: Limandan Güncel Kamusal Yaşama

Tophane–Karaköy kıyısının güncel dönüşümünde Galataport önemli bir yer tutmaktadır. Proje, kruvaziyer limanı işlevinin yanı sıra kıyı alanının yaya kullanımı, kültür, ticaret ve turizm gibi farklı işlevlerle düzenlenmesini kapsamaktadır. Galataport İstanbul'un kurumsal bilgilerine göre kruvaziyer terminalinin yer altında düzenlenmesi ve liman operasyonlarına ilişkin alanların farklı kullanım zamanlarına göre yönetilebilmesine yönelik tasarım çözümleri projenin temel özellikleri arasında yer almaktadır (Galataport İstanbul, t.y.). Bu kurumsal bilgiler projenin fiziksel düzenlemesini açıklamak amacıyla kullanılmakta; kamusallığının niteliğini tek başına kanıtlayan veriler olarak değerlendirilmemektedir.

Galataport'un kıyı alanını yaya kullanımıyla ilişkilendiren güncel mekânsal düzeni, tarihsel olarak liman faaliyetleriyle şekillenmiş Tophane kıyısına yeni bir kullanım katmanı eklemektedir. Bununla birlikte kıyıya fiziksel erişimin mümkün olması ile kamusal alanın sosyal açıdan kapsayıcı olması aynı kavramlar değildir. Bu nedenle Galataport'un değerlendirilmesinde fiziksel erişilebilirlik ile kamusallığın niteliğinin birbirinden ayrılması önem taşımaktadır.

Korkut ve Nalbantoğlu (2023), Galataport'u güncel kentsel tasarım ve gündelik kullanım ilişkileri üzerinden inceleyerek planlanan mekânsal düzen ile gündelik kullanıcı davranışları arasındaki ilişkiyi tartışmaktadır. Bu tür değerlendirmeler, büyük ölçekli kentsel projelerin yalnızca tasarlanmış fiziksel çevre üzerinden değil, mekânın kullanım biçimleri üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Türkoğlu ve Terzi (2026) ise Galataport'un kamusallığını erişim, kullanım ve etkinlikler, güvenlik, yönetim ve mekânsal deneyim gibi farklı boyutlar üzerinden değerlendirmektedir. Çalışma, alanın kamu tarafından erişilebilir olmasının kamusallığın bütün boyutlarını tek başına açıklamadığını; yönetim ve tüketim ilişkilerinin de kamusal alan deneyimini etkileyebildiğini ortaya koymaktadır.

Bu değerlendirmeler Galataport'un sürdürülebilir kentsel miras açısından tek yönlü biçimde ele alınmaması gerektiğini göstermektedir. Kıyı boyunca yaya erişiminin sağlanması, kruvaziyer limanı işlevinin sürdürülmesi ve farklı güncel kullanımların alanda bulunması dikkate değer unsurlardır. Bununla birlikte kamusal alanın niteliği yalnızca fiziksel erişilebilirlik üzerinden değerlendirilmemelidir; farklı kullanıcı gruplarının alanla kurduğu ilişkiler ve kullanım biçimleri de dikkate alınmalıdır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yerinde gözlemde kıyı boyunca yaya dolaşımının mümkün olduğu, denizle görsel ilişki kurulabildiği ve tarihî yapılarla güncel kullanımların yakın bir kentsel çevre içerisinde deneyimlenebildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte bu

gözlemler kullanıcı memnuniyeti, toplumsal kapsayıcılık veya yerel toplum üzerindeki etkiler konusunda genellenebilir sonuçlar üretmek amacıyla kullanılmamıştır.

Bu bağlamda Galataport, Tophane'nin tarihsel dönüşümünün nihai sonucu olarak değil, değişmeye devam eden kıyı alanına eklenen güncel bir kentsel katman olarak değerlendirilmektedir.

3.5. Kamusalılık, Erişilebilirlik ve Sürdürülebilir Kentsel Miras

Tophane'nin tarihsel gelişimi ve güncel kıyı düzeni birlikte değerlendirildiğinde bölgenin farklı dönemlere ait mimari ve işlevsel katmanların bir arada bulunduğu bir kentsel çevre olduğu görülmektedir. Kılıç Ali Paşa Külliyesi'nin tarihsel kıyı ilişkisi, Nusretiye Camii'nin bulunduğu tarihsel çevre ve Galataport kapsamında gerçekleştirilen güncel kıyı düzenlemeleri, Tophane'nin kentsel kimliğinin tek bir döneme indirgenemeyeceğini göstermektedir.

UNESCO'nun Tarihî Kentsel Peyzaj yaklaşımı, kentsel mirasın korunmasını daha geniş kentsel gelişme süreçleri içerisinde ele alan bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (UNESCO, 2011). Tophane örneğinde de tarihî yapıların fiziksel varlıklarının yanı sıra çevrelerindeki değişen kullanımların ve kamusal alan ilişkilerinin değerlendirilmesi bu yaklaşım açısından önem taşımaktadır.

Kamusalılık bu değerlendirmede temel konulardan biridir. Bir kıyı alanının fiziksel olarak erişilebilir olması kamusal kullanım açısından önemli olmakla birlikte, tek başına kapsayıcı bir kamusal alanın oluştuğunu göstermemektedir. Türkoğlu ve Terzi'nin (2026) değerlendirmeleri de Galataport örneğinde erişilebilirlik ile kamusalılığın sosyal niteliğinin birbirinden ayrılarak ele alınmasının önemine işaret etmektedir.

Tophane açısından güncel kullanımlar ile tarihî liman kimliği arasındaki ilişkinin okunabilirliği de önem taşımaktadır. Kılıç Ali Paşa Külliyesi'nin tarihsel kıyı konumu bölgenin denizle kurduğu ilişkinin anlaşılmasında bir referans sunarken Nusretiye Camii ve Tophâne-i Âmire çevresi bölgenin farklı dönemlerde oluşan mimari ve işlevsel katmanlarının okunmasına katkı sağlamaktadır (Eyice, 2002; Eyice, 2007; Zengin, 2012).

Yerinde gözlem kapsamında kıyı boyunca yaya hareketinin ve denizle görsel ilişkinin mümkün olduğu; Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii ve Galataport düzenlemelerinin yakın bir kentsel çevre içerisinde deneyimlenebildiği görülmüştür. Ancak kullanıcı profilleri, kullanım süreleri, tüketim davranışları veya yerel toplumun alanla ilişkisi sistematik olarak ölçülmediğinden bu konularda genellenebilir sonuçlara ulaşılmamıştır.

Sürdürülebilir kentsel miras açısından temel mesele, tarihî çevrenin değişmeden korunması ile sınırsız kentsel dönüşüm arasında bir tercih yapmak olarak değerlendirilmemelidir. Farklı dönemlere ait değerlerin tanınması, tarihî yapıların çevresel ilişkilerinin anlaşılması, kamusal erişimin gözetilmesi ve yeni kullanımların mevcut kültürel mirasla kurduğu ilişkinin eleştirel biçimde değerlendirilmesi önem taşımaktadır (UNESCO, 2011).

Bu bağlamda Tophane, geçmişten günümüze değişmeden ulaşmış bir tarihî çevre olarak değil, farklı dönemlerde yeniden biçimlenmiş çok katmanlı bir kıyı alanı olarak değerlendirilebilir. Galataport bu dönüşümün güncel katmanlarından birini oluştururken Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii ve Tophane'nin tarihî liman geçmişi daha eski katmanların anlaşılmasına yardımcı olan referanslar sunmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, İstanbul'un Tophane kıyısını Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii ve Galataport üzerinden ele alarak tarihî liman kimliği ile güncel kentsel kullanım arasındaki ilişkiyi sürdürülebilir kentsel miras perspektifinden değerlendirmiştir. İncelenen tarihsel

kaynaklar, Tophane'nin kıyı, liman, askerî faaliyetler, dinî yapılar ve kamusal yaşamla ilişkili olarak farklı dönemlerde değişen çok katmanlı bir kentsel çevre olduğunu göstermektedir.

Kılıç Ali Paşa Külliyesi'nin tarihsel kıyı konumu Tophane'nin XVI. yüzyıldaki deniz ve liman ilişkisinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Nusretiye Camii ise Tophâne-i Âmire ve dönemin askerî yapılarının bulunduğu çevreyle ilişkisi üzerinden bölgenin XIX. yüzyıldaki farklı bir tarihsel katmanını temsil etmektedir. Bu yapıların çevresinde zaman içerisinde meydana gelen değişimler, Tophane'nin günümüzdeki kentsel dokusunun tek bir dönemin ürünü olmadığını ortaya koymaktadır.

Galataport bu uzun dönüşüm sürecinin güncel katmanlarından biri olarak değerlendirilmiştir. Kruvaziyer limanı işlevinin sürdürülmesi ve kıyı boyunca yaya erişiminin mümkün hâle gelmesi, alanın güncel kullanımı bakımından dikkate değer unsurlardır. Bununla birlikte fiziksel erişilebilirlik ile kamusal alanın sosyal niteliğinin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Akademik literatürde Galataport'un kamusal kullanım, yönetim ve tüketim ilişkileri üzerinden de tartışılması, alanın yalnızca fiziksel erişilebilirlik üzerinden değerlendirilmesinin yeterli olmayabileceğini göstermektedir.

Yerinde gözlemlerde Tophane kıyısında yaya dolaşımının ve denizle görsel ilişkinin mümkün olduğu, tarihî yapılar ile güncel kıyı kullanımlarının yakın bir kentsel çevre içerisinde deneyimlenebildiği görülmüştür. Bununla birlikte kullanıcılarla görüşme veya anket gerçekleştirilmediğinden kullanıcı memnuniyeti, toplumsal kapsayıcılık, yerel toplumun görüşleri veya ekonomik etkiler konusunda genellenebilir sonuçlara ulaşılmamıştır.

Sürdürülebilir kentsel miras açısından Tophane örneği, tarihî çevrenin korunması ile güncel kentsel kullanımın birbirinin karşısı olarak ele alınmaması gerektiğini düşündürmektedir. UNESCO'nun Tarihî Kentsel Peyzaj yaklaşımı da kentsel mirası daha geniş kentsel gelişme süreçleri içerisinde değerlendiren bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (UNESCO, 2011).

Bu doğrultuda Tophane'nin sürdürülebilir kentsel mirasının değerlendirilmesinde tarihî yapıların fiziksel varlıklarının korunmasının yanı sıra yapıların kıyı, liman ve kamusal alanla kurdukları tarihsel ilişkilerin araştırılması ve belgelenmesi önem taşımaktadır. Kılıç Ali Paşa Külliyesi, Nusretiye Camii, Tophâne-i Âmire ve tarihî kıyı çevresinin bölgenin farklı dönemlerde oluşmuş kentsel katmanları içerisinde değerlendirilmesi önerilmektedir.

Güncel kıyı düzenlemelerinin değerlendirilmesinde ise turizm ve ticaret işlevlerinin yanı sıra kamusal erişilebilirlik, tarihî kimliğin okunabilirliği, farklı kullanıcıların alanla kurduğu ilişki ve liman hafızasının aktarılması gibi unsurların da dikkate alınması sürdürülebilir kentsel miras açısından önem taşımaktadır. Gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda kullanıcı görüşmeleri, farklı zamanlarda yapılacak sistematik gözlemler ve karşılaştırmalı kamusal alan analizleri aracılığıyla Tophane kıyısının güncel kullanım biçimlerinin daha ayrıntılı olarak araştırılması önerilmektedir.

Sonuç olarak Tophane, geçmiş ile güncel kent yaşamının birbirinden kesin çizgilerle ayrıldığı bir alan olmaktan ziyade farklı dönemlere ait tarihsel ve çağdaş katmanların bir arada bulunduğu bir kıyı çevresi olarak değerlendirilebilir. Sürdürülebilir kentsel miras açısından temel yaklaşım, tarihî çevreyi değişime tamamen kapatmak veya güncel dönüşümü koşulsuz biçimde olumlamak yerine; koruma, kamusal erişim, güncel kullanım ve tarihî kimlik arasındaki ilişkinin dengeli ve eleştirel biçimde değerlendirilmesi olmalıdır.

KAYNAKÇA

Eyice, S. (2002). Kılıç Ali Paşa Külliyesi. TDV İslâm Ansiklopedisi, 25, 412–414. Türkiye Diyanet Vakfı.

- Eyice, S. (2007). Nusretiye Camii. TDV İslâm Ansiklopedisi, 33, 274–276. Türkiye Diyanet Vakfı.
- Galataport İstanbul. (t.y.). Kruvaziyer limanı hakkında. Galataport İstanbul.
- Gelmez, E., & Altıntaş, M. (2018). Kent odağı olarak saat kuleleri: Nusretiye Saat Kulesinin değişen ölçeği. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication*, 8(1), 79–96.
- Korkut, C., & Nalbantoğlu, O. (2023). Adaptability of everyday planning in urban design practices: Self-organization and spontaneous action analysis of Galataport, Istanbul. *Computational Urban Science*, 3, 32.
- Türkoğlu, S., & Terzi, F. (2026). Assessing inclusivity in design and management of public space: Museum Gazhane and Galataport Istanbul cases. *The Journal of Public Space*, 10(2), 97–122.
- Uğurlu, A. H. (2020). Perform your prayers in mosques!: Changing spatial and political relations in nineteenth-century Ottoman Istanbul. In A. H. Uğurlu & S. Yalman (Eds.), *The Friday Mosque in the City: Liminality, Ritual, and Politics* (pp. 221–250). Intellect Books.
- UNESCO. (2011). *Recommendation on the Historic Urban Landscape*. UNESCO.
- Zengin, E. (2012). Tophâne. TDV İslâm Ansiklopedisi, 41, 253–256. Türkiye Diyanet Vakfı.

TÜRKİYE’DE SİNEMA VE YAPAY ZEKÂ’YI ELE ALAN ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Tolgay DURMUŞ

İnönü Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Radyo Televizyon ve Sinema, Malatya

ORCID: 0000-0002-1703- 6996

ÖZET

Son yıllarda, yapay zekânın ortaya çıkışı ve hızlı gelişimi, film endüstrisi de dâhil olmak üzere çeşitli sektörlerde köklü dönüşümleri beraberinde getirerek birçok sürecin yeniden şekillenmesine olanak sağlamıştır. Yapay zekânın, üretim tekniklerinde devrim yaratmanın yanı sıra operasyonları kolaylaştırmakta ve film yapımının genel verimliliğini artırmakta olduğu görülmektedir. Özellikle film yapımcılarının projelerini dijital olarak planlamasına ve görselleştirmesine olanak tanıyarak kaynak tahsisini optimize etmekte ve maliyetleri düşürmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, Türkiye’de sinema ve yapay zekâ ilişkisini ele alan akademik çalışmaların 2015-2025 yılları arasındaki mevcut durumunu, entelektüel yapısını ve eğilimlerini bibliyometrik analiz yöntemiyle haritalandırmaktır. Çalışma kapsamında Dergipark veri tabanı üzerinden “film”, “yapay zekâ”, “algoritmik sinema” ve “sinema” anahtar kelimeleri kombinasyonları ile kapsamlı bir tarama yapılmıştır. Belirlenmiş olan dahil etme ve hariç tutma kriterleri çerçevesinde toplam 31 akademik yayın (makale ve lisansüstü tez) analize dahil edilmiştir. Elde edilen veriler; yayınların tematik kümelenmeleri, türsel özellikleri ve yıllara göre dağılımı açısından incelenmiştir. Buna bağlı olarak araştırma bulguları, Türkiye’de yer alan akademik üretimin özellikle 2020 yılından itibaren belirgin bir şekilde ivme kazandığı ve çalışmaların ağırlıklı olarak etik sorunlar, algoritmik sinema ve üretken yapay zekâ temaları doğrultusunda yoğunlaştığını göstermektedir. Elde edilen bulguların, yapay zekâ ve sinema alanındaki bilimsel üretimin gelişim seyrini ortaya koymasına ek olarak gelecekte yürütülecek çalışmalar için yol verecek ve uygulamalara temel oluşturacak bir çerçeve sunacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, sinema, algoritmik sinema, bibliyometrik analiz.

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STUDIES ON CINEMA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TURKEY

ABSTRACT

In recent years, the emergence and rapid development of artificial intelligence have brought about profound transformations in various sectors, including the film industry, and have enabled the reshaping of many processes. It is evident that artificial intelligence is not only revolutionizing production techniques but also streamlining operations and increasing the overall efficiency of film production. In particular, by enabling filmmakers to plan and visualize their projects digitally, it optimizes resource allocation and reduces costs. Accordingly, the aim of this study is to map the current state, intellectual structure, and trends of academic studies addressing the relationship between cinema and artificial intelligence in Turkey between 2015 and 2025 using bibliometric analysis methods. As part of the study, a comprehensive search was conducted using combinations of the keywords “film,” “artificial intelligence,” “algorithmic cinema,” and “cinema” across the Dergipark database. Within the framework of the established inclusion and exclusion criteria, a total of 31 academic publications (articles and graduate theses) were included in the analysis. The data obtained were examined in terms of

the thematic clustering of the publications, their genre characteristics, and their distribution by year. Accordingly, the research findings indicate that academic production in Turkey has gained significant momentum, particularly since 2020, and that studies have primarily focused on themes such as ethical issues, algorithmic cinema, and generative artificial intelligence. It is assessed that the findings, in addition to revealing the development trajectory of scientific output in the fields of artificial intelligence and cinema, will provide a guiding framework for future studies.

Keywords: Artificial intelligence, cinema, algorithmic cinema, bibliometric analysis.

1. GİRİŞ

Sinema, bireysel ve toplumsal algı kalıplarını kökten biçimlendiren, sosyo-kültürel meseleleri işleyerek izleyicide düşünsel bir farkındalık yaratan güçlü bir sanat disiplini olarak ifade edilmektedir (Özçelik, 2020). Görsel-işitsel kültürün temel taşlarından biri olan sinemanın, tarihsel süreç boyunca teknolojik kırılmalardan en hızlı etkilenen disiplinlerden biri olduğu aşîkârdır.

Yeni teknolojiler sayesinde film yapım cihazlarının giderek daha kompakt, daha güçlü ve daha uygun fiyatlı hale geldiği görülmektedir. 360° görüş açısı, geliştirilmiş kamera merceği ve kayıt kalitesi gibi özelliklere sahip akıllı telefonlarla da film çekebilmekte olup, bu icatlar, sektörü film yapımında yeni yöntemler benimsemeye ve harika içerikler üretmeye teşvik etmektedir. Bu bağlamda, icatlardan biri de yapay zekâ olarak adlandırılan, insan gibi düşünen ve onların davranışlarını taklit etmek üzere programlanmış makineler olarak açıklanmaktadır. Bu terim, problem çözme ya da öğrenme gibi insan zihniyle bağlantılı eylemler sergileyen her türlü makinede kullanılabilmektedir (Datta & Goswami, 2020, s. 666).

Teknolojik sahada gerçekleşen bu dönüşüm, akademik alana da doğrudan yansımış ve sinema ile bilgisayar bilimlerinin kesişimde yeni bir literatür kümesinin oluşmasını sağlamıştır. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak ortaya çıkan dijital sinema, gerek filmlerin dijital / elektronik medya aracılığıyla yaratılabildiği, düzenlenebildiği ve dağıtılabildiği teknik bir olgu, gerek bu değişimlerle ortaya çıkan bir sinema türü olarak tanımlanmaktadır (Ganz & Khatib, 2006, s. 21).

Yapay zekânın sinemadaki, etik, estetik, pratik ve hukuki boyutlarını ele alan akademik yayınlar dünya genelinde hızla artarken, Türkiye’deki akademik literatürün de bu dönüşüme paralel bir gelişim gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda Türkiye’deki sinema ve yapay zeka literatürünün bibliyometrik açıdan incelenmesi, alandaki akademik üretimin hangi dönemlerde yoğunlaştığı, hangi yöntemlerin öne çıktığı, çalışmanın kaç araştırmacı tarafından yürütüldüğü ve hangi kavramların araştırmada daha fazla kullanıldığının belirlenmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu çerçevede çalışmanın temel problemi, Türkiye’de sinema ve yapay zekâ ilişkisini ele alan akademik çalışmaların bibliyometrik özelliklerinin nasıl bir görünüm sergilendiğinin belirlenmesidir. Araştırmanın temel amacı ise, Türkiye’de sinema ve yapay zekâ ilişkisini ele alan akademik çalışmaların gelişim eğilimlerini bibliyometrik göstergeler aracılığıyla ortaya koymaktır. Bu temel amaç doğrultusunda çalışmada şu araştırma sorunlarına yanıt aranmıştır:

- Türkiye’de sinema ve yz ilişkisini ele alan akademik çalışmaların yıllara göre dağılımı nasıldır?
- Çalışmalarda kullanılan yayın dili nedir?
- Çalışma kaç yazar tarafından ele alınmıştır?
- Çalışma metinleri kaç sayfa ile açıklanmıştır?

2. YAPAY ZEKÂ KAVRAMI VE GELİŞİMİ

Türk Dil Kurumu Sözlüğünde yapay zekâ terimi; “bir bilgisayarın, bilgisayar kontrollü bir robotun veya programlanabilir bir aygıtın, insan benzeri biçimde fikir yürütme, sorun çözme, algılama, karar verme, öğrenme ve iletişim kurma gibi fonksiyonları yerine getirebilme becerisi” olarak ifade edilmektedir (Enser, 2025, s. 13). Yapay zekânın “yapay” olarak nitelendirilmesi, kökenleri ve yaratılış biçimiyle ilgili olmakta olup; doğal (özellikle evrimsel veya biyolojik) bir etkinin sonucu olmaktan ziyade, insan tasarımı ve yaratıcılığının bir ürünü olarak ortaya çıktığı varsayılmaktadır (Fetzer, 1990: 3).

Yapay zekâ, bilgisayar ve programlanabilir cihazların, insan benzeri biçimde algılaması, karar vermesi, öğrenmesi, fikir yürütmesi, sorun çözmesi ve iletişim kurması gibi işlevleri sergileyebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. “Yapay zeka” bir terim olarak ilk kez 1956 yılında, John McCarthy ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen Dartmouth Konferansı’nda kullanılmış ve bu konferansla beraber bağımsız bir disiplin olarak doğmuştur. 1952-1979 yılları arasında YZ ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılmış, örneğin satranç oynayabilen ilk yapay zekâ programı geliştirilmiştir. 1980lerden itibaren bilgi işlem gücünün artması, veri hacimlerinin büyümesi ve yeni algoritmaların geliştirilmesi ile birlikte YZ bir bilim dalı olarak kabul edilmiştir (Enser, 2025, s. 15-16; Coderspace, 2024).

1980 tarihinden sonra insan sinirbilimi ve bilişsel psikolojideki gelişmeler yapay zekâyâ yönelik yaklaşıma olan ilgiyi yeniden canlandırmış ve bu odak değişimi, sinir ağları, bulanık mantık sistemleri ve evrimsel algoritmalar gibi önemli “yumuşak bilişim” aracının yaratılmasına yol açarak yapay zekânın teknoloji dünyasının yıldızı haline gelmesine ve bilişim dünyasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmasına neden olduğu görülmektedir. Özellikle 1997 yılında gerçekleştirilmiş olan bir satranç oyununda “DeepBlue”nun santraç şampiyonu Kasparov’u yenmesiyle birlikte yapay zekânın bir başarısı olarak tarihe geçtiği görülmektedir (Karaca, 2026, s. 105).

3. SİNEMA VE YAPAY ZEKÂ

Yapay zekâ, genellikle sıradan görevlerde ya da otomasyonla daha iyi gerçekleştirilebilecek işlerde insanlara yardımcı olmakla ilişkilendirilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, filmlerdeki yapay zekâ ve robotik tasvirleri de evrim geçirmiş; özellikle robotlar, antagonistten kahramana, romantik karakterden makine öğrenimi yeteneğine sahip ölümcül bir silaha kadar çok çeşitli roller üstlenmiştir. 2000’li yıllarda CGI’nin ortaya çıkmasıyla birlikte sinema dünyasında bir yapay zeka patlaması yaşandığı ve yapay zeka temelli filmler için değerli konseptler ortaya çıktığı görülmektedir (Datta & Goswami, 2020, s. 665).

Dijital platformların yaygınlaşmasıyla birlikte film izleme alışkanlıkları ve buna bağlı olarak sinema kültürü de önemli ölçüde dönüşüme uğramıştır. Dijitalleşme yalnızca izleyicinin tüketim alışkanlıklarını değiştirmekle kalmamış, aynı zamanda film yapımcılarının içerik üretim biçimlerini de etkilemiştir. Yapımcılar, filmlerini dijital platformlara uygun şekilde tasarlamak durumunda kalmış, bu da hem içeriksel hem de teknik anlamda yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Öyan, 2026, s. 84).

Sinema tarihi, yaratıcı endüstriler arasında en teknoloji temelli alanlardan biri olmaktadır. Teknolojinin yaygınlığı; teknik, prodüksiyon ve dağıtım sektörlerindeki çeşitli aktörleri bir araya getiren karmaşık bir ekosistemin oluşmasına yardımcı olmuştur. Teknolojinin hızlı gelişimi ile birlikte ortaya çıkan dijital dönüşüm beraberinde sinema alanında yapay zeka tabanlı teknolojiler kullanarak sinemada içerik ve biçim bakımından büyük bir dönüşüm geçirmiştir (Acar Yurdigül & Gülsün, 2024, s. 12).

4. METODOLOJİ

4.1. Araştırmanın Yöntemi

Bu araştırma, nitel araştırma yöntemleri kapsamında değerlendirilen ve ilk kez 1969'da Pritchard tarafından ele alınan bibliyometrik analiz tekniğinden yararlanılarak gerçekleştirilmiş olup; bu analiz belirli bir alanda örüntüleri, eğilimleri ve etkiyi belirlemek amacıyla bilimsel literatür üzerinde yürütülen sistematik bir çalışma olarak tanımlanmaktadır (Passas, 2024, s. 1014; Karaca, 2024, s. 83). Donthu ve arkadaşlarına göre (2021, s. 285) ise bibliyometrik analiz, belirli bir alandaki gelişim eğilimlerini, araştırma konularını ve etkili çalışmaları ortaya çıkarmak amacıyla bilimsel literatürdeki yayınları ve atıfları nicel olarak inceleyen bir yöntemdir. . Bu doğrultuda çalışmada Türkiye’de sinema ve yapay zekâ ilişkisini ele alan akademik çalışmaların 2015-2025 yılları arasındaki mevcut durumunu, entelektüel yapısını ve eğilimlerini bibliyometrik analiz yöntemiyle haritalandırmaktır. Çalışma kapsamında Dergipark veri tabanı üzerinden “film”, “yapay zekâ”, “algoritmik sinema” ve “sinema” anahtar kelimeleri kombinasyonları ile kapsamlı bir tarama yapılmıştır.

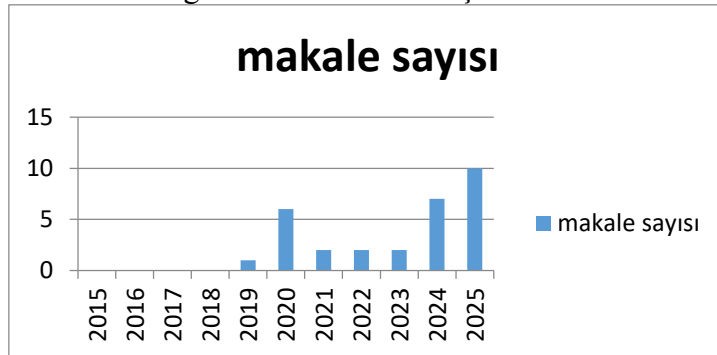
4.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Çalışmanın temel amacı, Türkiye’de sinema ve yapay zekâ ilişkisini konu alan akademik çalışmaların bibliyometrik özelliklerini ortaya koymak ve söz konusu literatürün gelişim eğilimlerini belirlemektir. Bu çerçevede çalışmada, Türkiye’de yayımlanan akademik çalışmaların yayımlandıkları yıllara göre dağılımı, makale özellikleri, makalede kullandıkları dil, yazar özellikleri ve kullanılan yöntem açısından incelenmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte, sinema ve yz ilişkisini ele alan çalışmaların hangi konu ve araştırma eğilimleri etrafında yoğunlaştığının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmelerin sinemada üretim ve yaratım süreçlerine giderek daha fazla dâhil olmasıyla sinema ve yapay zekâ arasındaki ilişkinin sinema ve iletişim çalışmaları açısından önemli bir inceleme alanına dönüşmesine neden olmuştur. Türkiye’de de yapay zekânın sinema ve film endüstrisinde kullanımına ilişkin çalışmaların olduğu görülmektedir. Söz konusu çalışmaların bir arada değerlendirilerek Türkiye’deki akademik üretimin genel eğilimlerini ortaya koyan bir araştırma haritasının oluşturulması, alandaki bilgi birikiminin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

5. BULGULAR

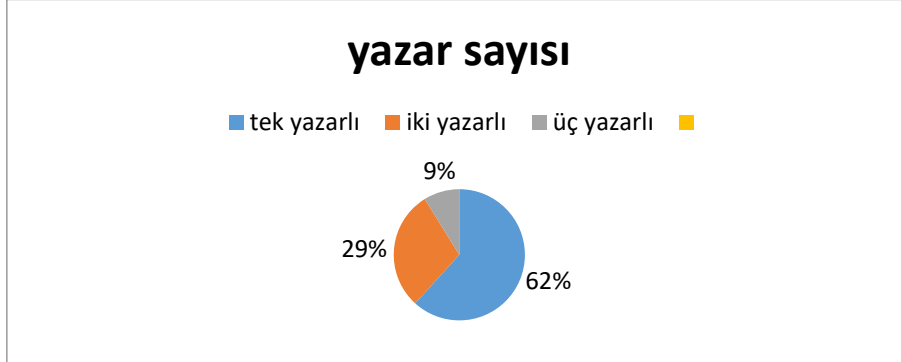
Çalışmanın bu bölümünde bibliyometrik analiz verileri, zaman kısıtı koyulmaksızın Dergipark veritabanı sorgulanarak elde edilmiştir.



Şekil 1. Makale sayısı analizi

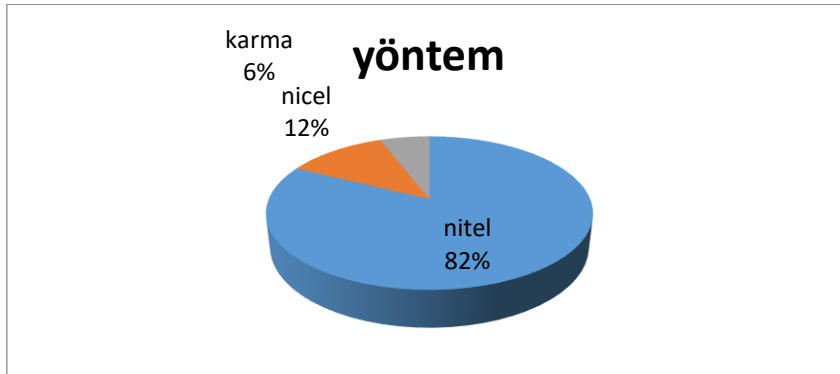
Şekil 1’deki veriler ışığında, Dergipark veritabanı üzerinde yer alan en çok çalışma 2025 yılında en az çalışma 2018 yılında yayımlanmış olup; 2015’ten 2018’e kadar yapay zeka ve sinema alanıyla ilgili bir yayın olmadığı görülmüştür. Dergipark veritabanında 2015-2022 yılları arasında “yapay zeka ve sinema” alanında toplam 34 makale yayınlanmıştır. Günümüze

yaklaştıkça makale sayısının hızla artması yapay zekâ ve sinema alanına yönelik akademik ilginin giderek arttığını gösterirken; bu doğrultuda, gelecek yıllarda yayımlanan makale sayısında da artış yaşanacağını öngörülmektedir.



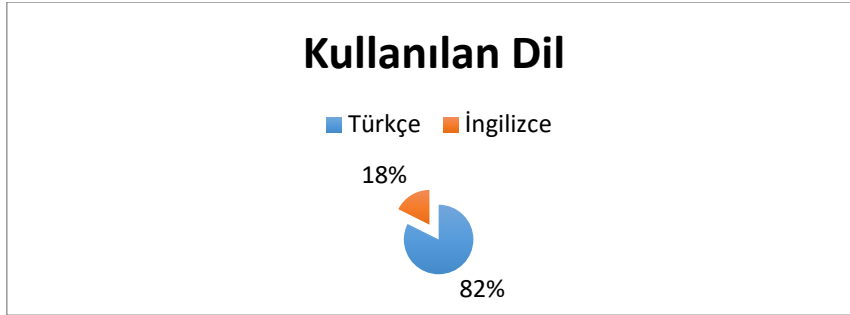
Şekil 2. Yazar sayısı analizi

Araştırma kapsamında toplam 34 makale incelenmiştir. Söz konusu çalışmaların 43 farklı yazar tarafından kaleme alındığı ve makale başına düşen ortalama yazar sayısının 1,26 olduğu belirlenmiştir. İncelenen makalelerdeki tek yazarlı ve çok yazarlı çalışma dağılımı şekil 2’de gösterilmektedir. Buna göre, çalışmaların 21’inin tek yazar (%62) tarafından hazırlandığı, 10 makalenin iki yazarın ortak çalışması olduğu(%29) ve 1 makalenin ise üç yazar (%9) tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. İnceleme sonucunda, çalışmaların büyük ölçüde 2020-2025 yılları arasında yayımlandığı tespit edilmiştir. İki yazarlı ve ikiden fazla yazarlı makalelerin profilleri değerlendirildiğinde, çalışmaların çoğunlukla lisansüstü öğrenciler ile öğretim üyelerinin işbirliğiyle gerçekleştirildiği görülmüştür. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda öğretim üyeleri dışında bağımsız araştırmacıların da yazar olarak yer aldığı belirlenmiştir.



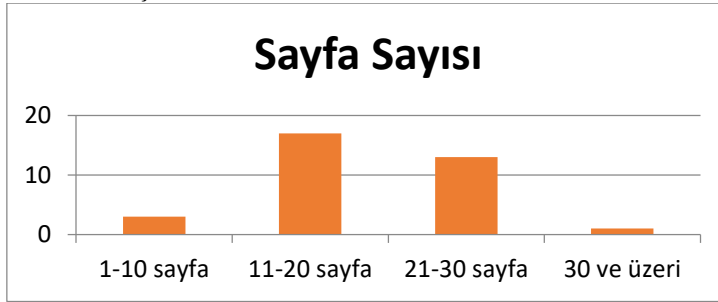
Şekil 3. Kullanılan yöntem analizi

Araştırmada kapsamında incelenen makalelerde nitel, nicel ve karma araştırma yöntemlerinden yararlanıldığı belirlenmiştir. Anket ve istatistiksel analizlere dayanan çalışmalar nicel araştırma kapsamında değerlendirilirken; gözlem, görüşme, yarı yapılandırılmış görüşme, metin analizi, göstergebilimsel analiz ve söylem temelli veri analizinden yararlanan çalışmalar nitel araştırma olarak sınıflandırılmıştır. Nitel ve nicel araştırma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar ise karma yöntem kapsamında ele alınmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, incelenen 34 makalenin 28’inin nitel, 4’ünün nicel ve 2’sinin karma araştırma yöntemiyle gerçekleştirildiği bulgularına rastlanılmıştır.



Şekil 4. Kullanılan dil analizi

Dergipark veritabanında 2015-2025 yılları arasında “yapay zeka ve sinema” olarak yayımlanan toplam 34 makalede en çok Türkçe dil (28 adet / %82) kullanıldığı görülmektedir. Diğer yandan İngilizce kullanılarak yazılan makale sayısı da (6 adet %18) oldukça düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Kullanılan sayfa sayısı analizi

Şekil 5’te 2015-2025 yılları arasında Dergipark veritabanında “yapay zeka ve sinema” alanında yayımlanmış olan makaleler, sahip oldukları sayfa sayısı açısından incelenerek verilmiştir. Araştırma kapsamında değerlendirilen 34 makalenin 3’ünün 1-10 sayfa, 17’sinin 11-20 sayfa ve 13’ünün 21-30 sayfa aralığında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, incelenen çalışmaların ağırlıklı olarak 1-20 sayfa aralığında yoğunlaştığını göstermektedir.

6. SONUÇ

Araştırmadaki yazar sayılarının incelenmesi ile birlikte tek yazarlı makalelerin daha fazla olduğu; onu iki yazarlı makalelerin izlediği saptanmıştır. Dolayısıyla yazarların makale yazarken ortak yayın çıkarma konusunda eğilimli oldukları yorumu yapılabilir. Yazar profiline bakıldığında ise iki yazar olarak daha çok doçent doktor unvanı ve lisansüstü öğrenci hâkimken, bunları öğretim görevlisinin izlediği bulguları dikkat çekmektedir.

Yapılmış olan çalışmada, çalışma verilerinin elde edildiği zaman aralığı bu çalışmanın sınırlılığını oluşturmaktadır. Yapay zeka hem de sinema sektörü düşünüldüğünde literatürün zaman içerisinde genişleyeceği göz önünde bulundurularak tüm disiplinlerde olduğu gibi bu alanyazında da tekrarlanması tavsiye edilir. Bu çalışma, Dergipark veritabanında yer alan yapay zekâ ve sinema konulu makalelerle sınırlı olup, söz konusu çalışmalara yönelik değerlendirmeleri sunmaktadır. Konunun farklı alanlar bağlamında ele alınması ve bu doğrultuda gerçekleştirilecek çalışmaların ortaya koyacağı bulgular, konuya ilişkin daha kapsamlı sonuçlara ulaşılması açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Acar Yurdigül, A., & Gülsün, M. (2024). Geçmişten günümüze yapay zeka temalı filmler. Arslan, Ö. F., Atılğan, S. S. & Karaburun, M. (Ed.), *İletişim perspektifinde sosyal ve ekonomik olaylar 2* içinde (ss.7-20). Akademi Yayınları.

2. Enser, V. (2025). Medya ve yapay zekâ etkileşiminin boyutları, olanakları ve sorunları. Enser, V. & Batur, M. (Ed.), *Medya ve yapay zekâ etkileşimi bağlamında güncel çalışmalar* içinde (ss. 11-37). Palet Yayınları.
3. Coderspace. (2024). Yapay Zekâ'nın Tarihi: Dünden Bugüne Yapay Zekâ. Coderspace. Erişim adresi: <https://coderspace.io/blog/yapay-zekanin-tarihi-dunden-bugune-yapay-zeka/>.
4. Datta, A., & Goswami, R. (2020). The film industry leaps into artificial intelligence: scope and challenges by the filmmakers. Rathore, V.S., vd. (Ed.), *Rising threats in expert applications and solutions. advances in intelligent systems and computing* içinde (ss. 665-670). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6014-9_80
5. Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
6. Fetzer, J. H. (1990). *What is artificial intelligence? in artificial intelligence: its scope and limits*. Springer Netherlands.
7. Ganz, A., & Khatib, L. (2006). Digital cinema: The transformation of film practice and aesthetics. *New Cinemas Journal of Contemporary Film*, 4(1), 21-36. http://doi.org/10.1386/ncin.4.1.21_1
8. Karaca, M. (2024). Dergipark veri tabanında yer alan dijital pazarlama konulu makalelerin bibliyometrik analizi. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 16(1), 74-96. <https://doi.org/10.55978/sobiadsbd.1189730>
9. Karaca, M. (2026). Yapay zekâ çağında sinemadaki dönüşümün açıklayıcı sunumu. Akmeşe, E. & Erdem, S. (Ed.), *Dijital çağda tekno-estetik sinema kültürü çalışmaları* içinde (ss. 104-113). İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları.
10. Öyan, F. (2026). Siber bedenden yapay zekâya: ghost in the shell (kabuktaki hayalet) filminde zihnin ve beden sinematik temsili. Akmeşe, E. & Erdem, S. (Ed.), *Dijital çağda tekno-estetik sinema kültürü çalışmaları* içinde (ss. 84-95). İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları.
11. Passas, L. (2024). Bibliometric Analysis: The Main Steps. *Encyclopedia*, 4(2), 1014-1025 <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065>.

BİLGİ GERİ GETİRİMDE TERİM AĞIRLIKLANDIRMA İLE SORGULAR ARASINDAKİ BAĞINTILAR ÜZERİNE BİR İNCELEME

Nilay Akdemir

Department of International Computer, Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Ege University, Bornova, 35100

Assist. Prof. Dr. İlker KOCABAŞ

International Computer Institute, Ege University, Bornova, 35100, Izmir

ORCID ID: 0000-0001-7751-3136

ÖZET

Bu çalışma, Bilgi Erişim (Information Retrieval - IR) sistemlerinin performansını doğrudan etkileyen terim ağırlıklandırma yöntemleri ile sorgu yapıları arasındaki etkileşimi incelemektedir. Farklı teorik temellere sahip ve yaygın olarak kullanılan dört terim ağırlıklandırma modeli (BM25, IFB2, DFIZ ve DPH), standart TREC-6, TREC-7 ve TREC-8 test koleksiyonları kullanılarak deneysel olarak değerlendirilmiştir. Deneyler, her bir ağırlıklandırma modelinin üç farklı sorgu kümesi üzerinde ayrı ayrı çalıştırılarak sıralanmış erişim sonuçlarının elde edildiği Terrier (TERabyte RetrIEveR) bilgi erişim platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem performansı, Ortalama Averaaj Duyarlık (Mean Average Precision - MAP) metriği temel alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, boyut indirgeme amacıyla sorgu düzeyindeki performans profillerine Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis - PCA) uygulanmıştır. Ardından, benzer performans örüntülerine sahip sorguları gruplandırmak amacıyla Dirsek Yöntemi (Elbow Method) ve K-Means Kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen kümeler analiz edilerek hangi sorgu gruplarının belirli terim ağırlıklandırma modelleriyle daha iyi performans gösterdiği ve sorguların erişim performanslarına göre anlamlı kümeler oluşturup oluşturmadığı incelenmiştir. Bulgular, bu kümelerin oluşumunda sistematik benzerliklerin bulunduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda çalışma, belirli sorgular ve veri kümeleri için en uygun terim ağırlıklandırma modelinin seçilmesine yönelik veri odaklı bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bilgi Geri Getirimi; Terim Ağırlıklandırma; MAP; BM25; IFB2; DFIZ; DPH; AP.

A STUDY ON THE INTERACTION BETWEEN TERM WEIGHTING AND QUERIES IN INFORMATION RETRIEVAL

ABSTRACT

This study investigates the interaction between term weighting methods and query structures, both of which directly affect the performance of Information retrieval (IR) systems. For widely used term weighting models with different theoretical foundations- BM25, IFB2, DFIZ, and DPH- were experimentally evaluated using the standard TREC-6, TREC-7, and TREC-8 test collections. The experiments were conducted using the Terrier (TERabyte RetrIEveR) information retrieval platform, where each weighting model was executed separately on three different query sets to generate ranked retrieval results. System performance was evaluated based on the Mean Average Precision (MAP) metric. In the second stage of the study, Principal Component Analysis (PCA) was applied to the query-level performance profiles for

dimensionality reduction. Subsequently, Elbow Method and K-Means Clustering were used to group queries according to their similar performance patterns. The resulting clusters were analyzed to determine which query groups achieved better performance with specific term weighting models and to examine whether the queries formed meaningful clusters based on their retrieval performance. The findings demonstrated the existence of systematic similarities in the formation of these clusters. In this respect, the study presents a data-driven approach for selecting the most suitable term weighting model for specific queries and datasets.

Keywords: Information retrieval; Term Weighting; MAP; BM25; IFB2; DFIZ; DPH; AP.

1. INTRODUCTION

The rapid expansion of digital information has fundamentally transformed the way knowledge is created, stored, accessed, and consumed. Search engines, digital libraries, scientific databases, enterprise repositories, and large-scale web platforms now operate over document collections whose size and complexity continue to grow at an unprecedented rate. In such environments, the central challenge is no longer merely to locate documents containing the same words as a user query, but to identify and rank the documents that are most likely to satisfy the underlying information need. This task lies at the core of Information Retrieval (IR), where even seemingly small changes in term representation, scoring functions, or query interpretation can lead to substantial differences in retrieval effectiveness.

A term-weighting model determines how strongly each query term contributes to the relevance score of a document. This decision is influenced by several statistical properties, including term frequency within a document, document frequency across the collection, document length, term informativeness, and deviation from random occurrence. Different models represent these properties through different assumptions and mathematical formulations. BM25, for example, is based on probabilistic retrieval principles and incorporates term-frequency saturation and document-length normalization. IFB2, DFIZ, and DPH belong to the Divergence From Randomness family and estimate term importance by measuring the extent to which term occurrences differ from what would be expected under random distributions. Although these models often produce comparable average results, they do not necessarily respond to queries in the same way.

This distinction is especially important because retrieval performance is not uniformly distributed across queries. A model that performs well on average may still fail substantially for a specific subset of queries, while another model with a lower overall score may be more effective for those same queries. Such behavior is often hidden when evaluation is based only on collection-level measures such as Mean Average Precision. Aggregated effectiveness scores provide a useful overview, but they compress the behavior of many heterogeneous queries into a single value. As a result, they reveal which model performs better on average, but not why it performs better, for which queries it performs better, or whether stable groups of queries exhibit similar model preferences.

The assumption that one globally selected weighting model is suitable for every query is therefore open to question. Queries differ in length, specificity, ambiguity, term rarity, topical focus, and statistical distribution within a collection. Some queries may benefit from strong term-frequency normalization, while others may be better served by models that emphasize deviation from randomness or term discrimination. Moreover, the same query structure may behave differently across collections because document length distributions, vocabulary characteristics, and topical composition can change. These observations suggest that retrieval

effectiveness should be examined as an interaction among the query, the weighting model, and the document collection rather than as a property of the model alone.

Recent research in Information Retrieval has increasingly emphasized query-level analysis, query performance prediction, adaptive retrieval, selective processing, and model routing. These directions share a common objective: moving beyond fixed retrieval decisions toward systems that adapt their behavior according to the characteristics of individual queries. However, much of the existing research focuses on predicting a single effectiveness score, selecting among neural retrievers, or comparing systems across datasets. Comparatively less attention has been given to discovering latent query groups based on their relative performance across multiple traditional term-weighting models. Such an analysis can provide valuable insight into whether recurring query-performance structures exist and whether these structures can support dynamic model selection.

This study addresses this problem by examining the interaction between query characteristics and four widely used term-weighting models: BM25, IFB2, DFIZ, and DPH. The experiments are conducted on the standard TREC-6, TREC-7, and TREC-8 collections using query-level Average Precision values generated through the Terrier Information Retrieval platform. Instead of relying solely on collection-level MAP scores, the study analyzes the performance profile of each query across all four models. This makes it possible to investigate not only which model performs best on average, but also how model behavior changes from one query to another.

To reveal the underlying structure of these query-level performance profiles, the study combines statistical normalization, Principal Component Analysis, and K-Means clustering. First, query-level AP scores are standardized so that the analysis focuses on relative model behavior rather than absolute query difficulty. PCA is then used to reduce the four-dimensional model-performance space to a two-dimensional representation while preserving the dominant variance structure. Finally, K-Means clustering is applied to identify groups of queries that exhibit similar relative effectiveness patterns across the weighting models.

The analysis reveals a highly interpretable structure. Across all three TREC collections, the first principal component consistently separates BM25 and IFB2 from DFIZ and DPH, while the second principal component primarily captures the contrast between DPH and DFIZ. Furthermore, the clustering results identify recurring query groups with stable model-preference profiles. Some clusters are consistently associated with DFIZ and DPH, others with BM25 and IFB2, and another with strong DPH performance. At the same time, one cluster exhibits corpus-sensitive behavior, demonstrating that the preferred model may change according to collection characteristics. This finding is particularly important because it shows that query-level model preference can be systematic, yet not entirely independent of the dataset. This study makes the following contributions. First, it provides a query-level comparison of BM25, IFB2, DFIZ, and DPH across three standard TREC collections. Second, it introduces a PCA-based representation that reveals consistent semantic distinctions among the weighting models. Third, it identifies recurring query clusters with interpretable model-dominance patterns. Finally, it demonstrates that while several query groups exhibit stable behavior across collections, others are corpus-sensitive, highlighting the need to consider both query and collection characteristics in retrieval model selection.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 reviews related studies on term weighting, query performance analysis, and adaptive retrieval. Section 3 describes the datasets, indexing process, evaluation procedure, and statistical analysis framework. Section 4 presents the PCA and clustering results and discusses the identified query-performance profiles. Section

5 concludes the study and outlines directions for future work on query classification and dynamic term-weighting model selection.

2. RELATED WORKS

With the acceleration of scientific and technological developments, the amount of knowledge produced in various fields has increased significantly. Particularly as a result of the spread of digitalization, a large portion of the information produced is stored and processed in electronic environments (Varian 2005). This has increased the importance of IR systems, which enable users to retrieve the information they need accurately and efficiently from large-scale document collections.

Information Retrieval (IR) systems aim to rank and present the most relevant documents by modeling the relationship between user queries and document representations. One of the most critical stages in this process is transforming textual data into index terms through a series of preprocessing steps and assigning appropriate importance weights to these terms. However, traditional IR systems are unable to fully interpret document content at the semantic level and therefore rely primarily on keyword-based matching (van Rijsbergen, 1979). Consequently, the effective representation of documents and the accurate modeling of term discriminativeness are among the key factors that directly influence retrieval performance.

The first systematic studies on term weighting were initiated by the work of Luhn, who proposed that the frequency of a term within a document is closely related to its semantic importance (Luhn 1958). Subsequent research introduced a variety of approaches to quantify the discriminative power of terms within a document collection, including Inverse Document Frequency (IDF), Signal-to-Noise Ratio, and Term Discrimination Value (Can & Özkarahan 1987; Salton 1975b). In parallel, probabilistic approaches and Divergence From Randomness (DFR) models, which estimate term importance based on deviations from random distributions, were developed. Notable contributions in this area include the studies of Harter (1975a, 1975b), Robertson and Spark Jones (1976), Cooper and Maron (1978), Croft and Harper (1979), Robertson et al. (1980), Fuhr (1989), Turtle and Croft (1992), Wong and Yao (1995), Church (1995), Ponte and Croft (1998), Hiemstra and de Vries (2000), and Amati and Van Rijsbergen (2002). Building upon these theoretical foundations, term weighting models such as BM25, IFB2, DFIZ, and DPH have emerged as some of the most widely adopted and effective approaches in modern Information Retrieval systems.

Most studies in the literature have primarily focused on comparing the performance of term weighting models at the collection level. In contrast, relatively limited attention has been given to analyzing the performance behavior of queries across different models and the relationship between query characteristics and model effectiveness. However, the effectiveness of a term weighting method is closely related to how it models factors such as term frequency, discriminative power, and deviation from randomness (Kocabas, 2011). Therefore, system performance should not only be evaluated based on overall effectiveness measures but also at the level of individual queries.

In this study, the performance of BM25, IFB2, DFIZ, and DPH term weighting models was examined at the query level using standard TREC datasets. Query-level Average Precision (AP) values obtained from these models were analyzed using machine learning techniques to identify queries exhibiting similar performance patterns across different models. In this way, structural groupings of queries in terms of model behavior were revealed, demonstrating that treating model selection as a fixed decision mechanism may not produce optimal results for every query.

The main contribution of this study is a data-driven analytical framework that evaluates term weighting models not only based on their average performance scores but also in the context of query characteristics and performance behavior.

Although these weighting models are based on different assumptions, they have traditionally been evaluated by aggregating performance over an entire test collection. Measures such as Mean Average Precision, normalized Discounted Cumulative Gain, and recall are commonly averaged across all queries, producing a single effectiveness value for each retrieval system. While this evaluation strategy is useful for general system comparison, it may conceal substantial variation among individual queries. A model that produces the best average result may perform poorly for a specific subset of queries, whereas another model with a lower collection-level score may be more effective for those queries.

3. DATASET AND EVALUATION PROCESS

The experimental process conducted in this study was organized into three stages: data preparation and indexing, performance evaluation, and statistical analysis. The dataset used in the experiments consists of TREC (Text REtrieval Conference) collections organized by the National Institute of Standards and Technology (NIST) (NIST, 2026). In this study, the TREC-6, TREC-7, and TREC-8 datasets were considered separately. The document collection comprises a total of 556,077 SGML-tagged documents. The query sets consist of 150 topics in total, selected from topics 301–350, 351–400, and 401–450, respectively, and only the <title> fields of the queries were used. For the evaluation stage, the relevance judgments (qrels) provided by NIST were used.

During the indexing process, statistical noise was reduced by using the default stopword list provided by the Terrier platform. In addition, the Porter stemming algorithm (Porter Stemmer) was applied for root word extraction. The indexing procedure was performed in a model-independent manner over the entire collection, and indexing of the 556,077 documents was completed in a single batch using Terrier's "batchindexing" function.

Following the completion of the indexing stage, retrieval experiments were conducted using Terrier's "batchretrieval" function. Four term weighting models—BM25, IFB2, DFIZ, and DPH—were applied independently to the TREC-6, TREC-7, and TREC-8 datasets. As a result, a total of 12 independent experimental scenarios were established, with four retrieval runs performed for each dataset.

Performance evaluation was based on the Mean Average Precision (MAP) metric. Since MAP is defined as the mean of the Average Precision (AP) values computed for individual queries, AP scores for each query were obtained using Terrier's "trec_eval" function for subsequent analysis. The resulting AP values were then used to examine query-level performance across the different term weighting models. The objective was not only to compare the overall effectiveness of the models but also to investigate the performance patterns they displayed at the individual query level. As a preliminary step, a standardization procedure was applied. For each TREC dataset, the query-level AP values obtained from the four term weighting models were standardized separately. Specifically, the mean and standard deviation of the AP values were calculated for each query across the four models. The standardized AP values were then computed by subtracting the query-specific mean from each model's AP value and dividing the result by the corresponding standard deviation. This procedure enabled the analysis to focus on the relative performance behavior of the models rather than their absolute effectiveness scores. To visualize the resulting multidimensional performance space and reduce its dimensionality while preserving the correlations among the models, Principal Component Analysis (PCA) was

applied. The PCA was implemented in the Google Colab environment using the Python programming language and the scikit-learn library. As shown in Table 1, the explained variance ratios indicate that, for all three datasets, the first two principal components account for approximately 88% of the total variance.

Table 1. Explained variance ratios of principal components for each collection set

	TREC-6	TREC-7	TREC-8
PC1:	64,60 %	56,54 %	64,42 %
PC2:	24,20 %	30,66 %	23,18 %
PC3:	11,20 %	12,80 %	12,40 %
PC4:	0,00 %	0,00 %	0,00 %

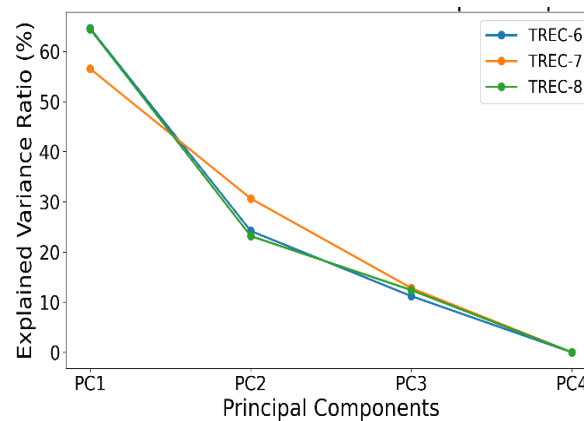


Figure 1. Comparison of variance ratios of principal components for each collection set

Figure 1 shows the explained variance ratios of the principal components for the TREC-6, TREC-7, and TREC-8 datasets. In all three datasets, the first principal component(PC1) accounts for the largest proportion of the total variance, followed by a clear decrease from PC2 to PC4. The figure also shows that the first two principal components together explain the majority of the variance, supporting the use of a two-dimensional PCA representation in the subsequent analyses.

Table 2. Principal component loadings for each collection set

	TREC-6		TREC-7		TREC-8	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
BM25	-0,445936	0,274794	-0,420209	0,123223	-0,361443	0,138796
IFB2	-0,538024	-0,391224	-0,549314	-0,312798	-0,594399	-0,319413
DFIZ	0,609417	-0,560111	0,645528	-0,564380	0,650014	-0,566350
DPH	0,374543	0,676541	0,323995	0,753955	0,305825	0,746967

As shown in Table 2, an examination of the principal component loadings for each collection sets suggests the following semantic interpretations:

- PC1 (Model Group Separation Axis): Across all datasets, the loading coefficients of DFIZ and DPH are positive on the PC1 axis, whereas those of BM25 and IFB2 are negative. This

mathematical symmetry indicates that this axis captures the characteristic performance contrast between these two model groups.

- PC2 (DPH Dominance Axis): Examination of the loading coefficients for this component indicates that it primarily captures the contrast and relative performance differences between the DPH and DFIZ models. A positive PC2 value implies superior performance of the DPH model, whereas a negative value indicates that the DFIZ model performs better.

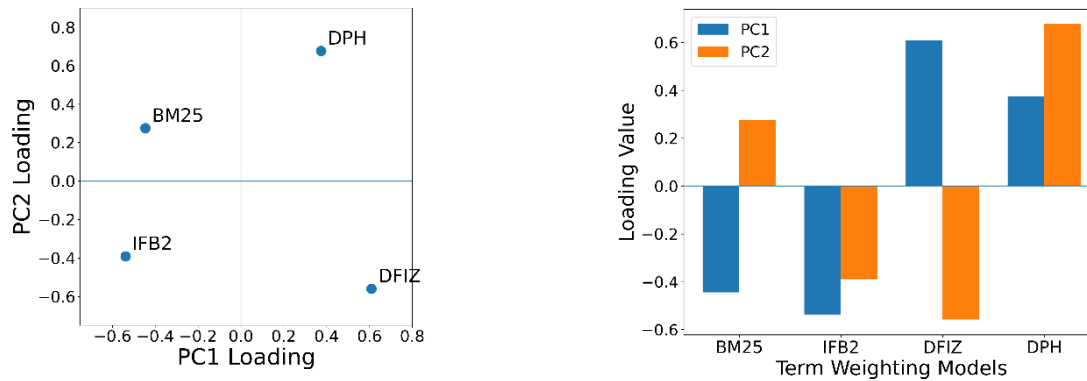


Figure 2. PCA loading plot and grouped loading values of the BM25, IFB2, DFIZ, and DPH term-weighting models for the TREC-6 collection.

As shown in Figure 2, the PCA loading plot reveals a clear separation between the term-weighting models. BM25 and IFB2 have negative loadings on PC1, whereas DFIZ and DPH have positive loadings, indicating that PC1 mainly distinguishes these two model groups. On PC2, DPH has the strongest positive loading, while DFIZ has the strongest negative loading. The grouped bar chart confirms the same pattern and makes the magnitude and direction of the PC1 and PC2 loadings easier to compare across the four models.

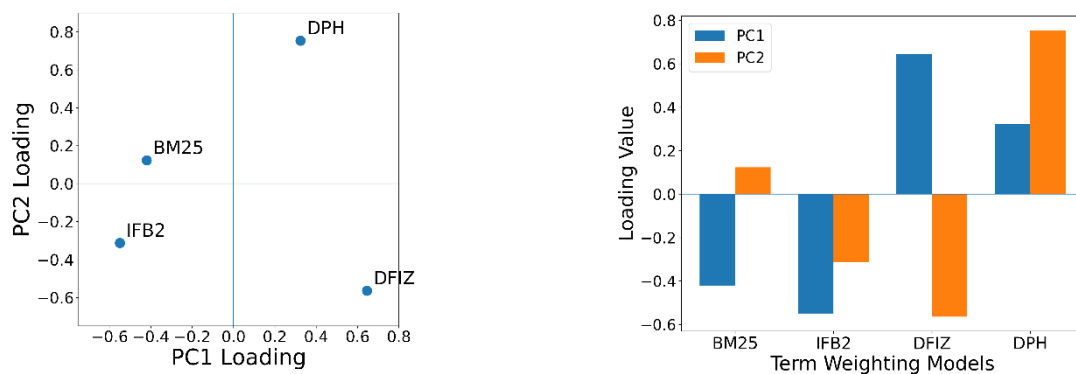


Figure 3. PCA loading plot and grouped loading values of the BM25, IFB2, DFIZ, and DPH term-weighting models for the TREC-7 collection.

As illustrated in Figure 3, the loading structure for TREC-7 shows a clear distinction between the model groups. BM25 and IFB2 have negative loadings on PC1, whereas DFIZ and DPH have positive loadings, confirming that PC1 mainly represents the contrast between these two groups. On PC2, DPH has the strongest positive loading, while DFIZ has the strongest negative

loading. The grouped bar chart supports this interpretation by clearly displaying the direction and magnitude of the loading values for all four models.

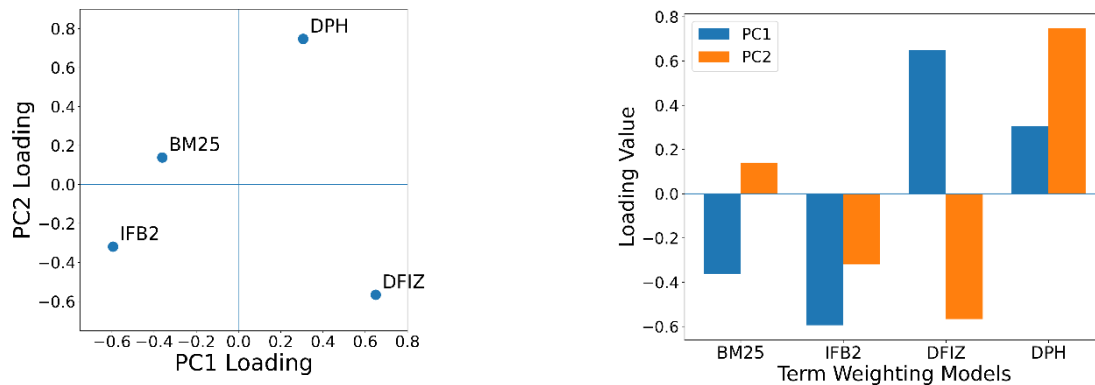


Figure 4. PCA loading plot and grouped loading values of the BM25, IFB2, DFIZ, and DPH term-weighting models for the TREC-8 collection.

As shown in Figure 4, the PCA loading structure for TREC-8 follows a pattern similar to those observed for TREC-6 and TREC-7. BM25 and IFB2 have negative loadings on PC1, whereas DFIZ and DPH have positive loadings, indicating that PC1 separates these two model groups. On PC2, DPH exhibits the strongest positive loading, while DFIZ has the strongest negative loading. The grouped bar chart further supports this interpretation by clearly showing the magnitude and direction of the PC1 and PC2 loadings for each term-weighting model.

After clarifying the semantic interpretations of the axes across models, Principal Component Scores (PCA Scores) were computed in order to project each query into this newly defined two-dimensional space and analyze performance similarities and differences in this two-dimensional representation. These scores are calculated by multiplying each standardized AP value by its corresponding principal component loading and summing the resulting products for each component.

4. RESULTS

The query-performance data reduced to two dimensions via PCA, along with the corresponding principal component scores, were then used as input to the K-Means clustering algorithm, which is an unsupervised learning method. All operations were conducted in the Google Colab environment using the KMeans module of the Python scikit-learn library. The Elbow Method was employed to determine the optimal number of clusters. In this approach, the Sum of Squared Errors (SSE)—defined as the sum of squared Euclidean distances between each PCA score and its assigned cluster centroid—was computed for different values of K. For all three datasets, the elbow point was observed at K = 4, indicating that four clusters provide the most appropriate partitioning of the data.

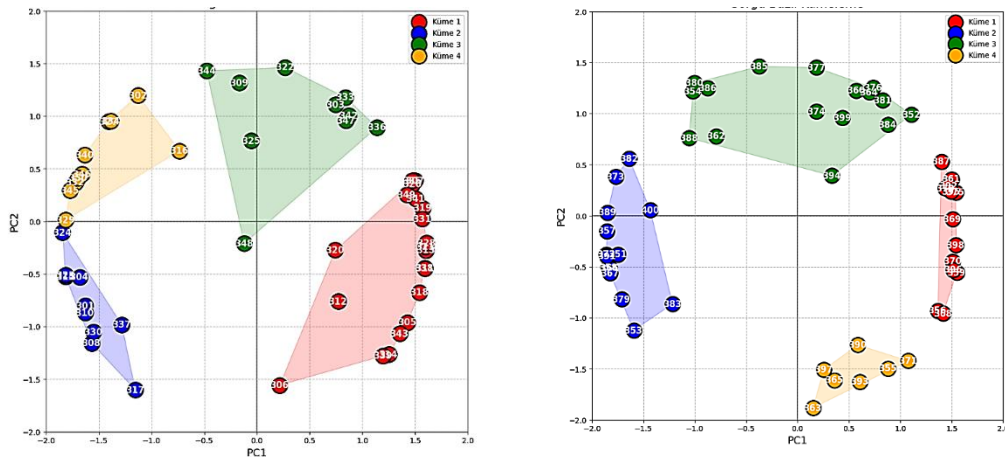


Figure 5. TREC-6 and TREC-7 Query-Based Clustering Plot

As shown in Figure 5, which illustrates the query-level clustering results for the TREC-8 dataset, each cluster can be interpreted as follows:

- Cluster 1 (DFIZ & DPH Dominant): The cluster centroids were found to be (1.47, -0.17) for TREC-6 and (1.62, 0.5) for TREC-7. The position along PC1, the condition $PC1_{avg} \gg 0$ is satisfied across the collection sets, suggesting that DFIZ and DPH models jointly achieve high performance for queries in this cluster.
- Cluster 2 (BM25 & IFB2 Dominant): The cluster centroids were identified as (-1.47, 0.60) for TREC-6 and (-1.58, -1.98) for TREC-7. The position along PC1 ($PC1_{avg} \ll 0$) indicates that, for these query characteristics, BM25 and IFB2 weighting schemes exhibit strong performance and high consistency, suggesting their dominance within this cluster.
- Cluster 3 (DPH-Dominant Cluster): The cluster centroids were computed as (0.5, 1.2) for TREC-6 and (0.19, 1.27) for TREC-7. The high positive scores on the second principal component ($PC2_{avg} > 0$) indicate that queries in this cluster achieve the highest relative performance with the DPH model in structural terms..
- Cluster 4 (Variable / Corpus-Sensitive Cluster): This cluster represents a region where BM25 is dominant and DFIZ is weaker in the TREC-6 collection set (-1.37, 0.8), whereas it evolves into a profile in which DFIZ becomes dominant in the TREC-7 collection set (0.7, -1.35).

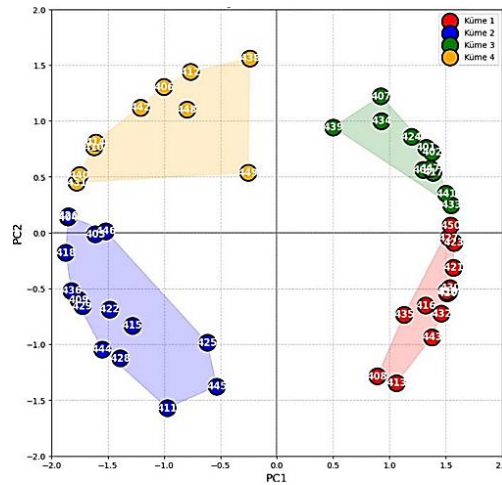


Figure 6. TREC-8 Query-Based Clustering Plot

As shown in Figure 6, the query-based clustering results for the TREC-8 dataset indicate that, when each cluster is examined individually,

- Cluster 1 (DFIZ & DPH Dominant): The cluster centroid for TREC-8 was found to be (1.54, -0.47). The position along PC1 together with the condition $PC1_avg >> 0$ indicates that DFIZ and DPH models jointly achieve high performance for queries in this cluster.

- Cluster 2 (BM25 & IFB2 Dominant): The cluster centroid was identified as (-1.31, -0.51). The position along PC1 ($PC1_avg << 0$) indicates that BM25 and IFB2 weighting schemes exhibit strong performance and high consistency for the query characteristics represented in this cluster.

- Cluster 3 (DPH-Dominant Cluster): The cluster centroid for TREC-8 was computed as (1.35, 0.81). The high positive scores on the second principal component ($PC2_avg > 0$) indicate that queries in this cluster achieve the highest relative performance with the DPH model in structural terms.

- Cluster 4 (Variable / Corpus-Sensitive Cluster): While exhibiting different profiles in the TREC-6 and TREC-7 datasets, this cluster represents a structure in TREC-8 where the DPH model achieves the highest performance, whereas DFIZ performs weakly (-0.96, 1.07).

When the clusters obtained from the three independent collection sets are evaluated, the first three clusters are found to exhibit consistent profiles across all datasets. In contrast, the fourth cluster, unlike the first three, represents a dynamic group that shows the highest degree of variation depending on collection and query characteristics, and it exhibits different profiles for each dataset.

Table 3. Combined assessment obtained from three independent collection sets

TREC-6	TREC-7	TREC-8	Assigned Profile Name
Cluster 1	Cluster 1	Cluster 1	DFIZ & DPH Dominant
Cluster 2	Cluster 2	Cluster 2	BM25 & IFB2 Dominant
Cluster 3	Cluster 3	Cluster 3	DPH Dominant
Cluster 4	Cluster 4	Cluster 4	BM25 Dominant, DFIZ Weak
-	Cluster 4	-	DFIZ Dominant
-	-	Cluster 4	DPH Dominant, DFIZ Weak

As shown in Table 3,

Cluster 1: This cluster represents a profile in which the DFIZ and DPH model pair is dominant across all collection sets.

Cluster 2: This cluster represents a profile in which the BM25 and IFB2 model pair exhibits dominant performance across all collection sets.

Cluster 3: This cluster contains queries for which the DPH model consistently demonstrates high performance across all collection sets.

Cluster 4: This cluster exhibits different profiles across datasets. In TREC-6, it consists of queries where BM25 is dominant and DFIZ performs weakly, whereas in TREC-7 it contains queries where DFIZ becomes dominant. In TREC-8, the cluster represents a profile in which DPH is dominant and DFIZ performs weakly.

5. CONCLUSIONS

This study investigated the interaction between query characteristics and term-weighting models by evaluating BM25, IFB2, DFIZ, and DPH on the TREC-6, TREC-7, and TREC-8 collections. Unlike conventional collection-level comparisons, the proposed framework focused on query-level Average Precision values and combined standardization, Principal Component Analysis, and K-Means clustering to reveal systematic performance patterns among queries. The PCA results showed that the first two principal components explained approximately 88% of the total variance in all three collections, indicating that the relative performance behavior of the four models could be represented effectively in a two-dimensional space. The loading patterns were also highly consistent across the datasets: PC1 separated BM25 and IFB2 from DFIZ and DPH, while PC2 mainly reflected the performance contrast between DPH and DFIZ.

All experimental and statistical findings obtained in this study provide strong evidence that the performance of term weighting models in information retrieval systems is structurally dependent on the interaction between model effectiveness and query characteristics. Through the proposed integration of PCA and K-Means clustering, the relationships and differences between queries and weighting models were made explicitly observable in a two-dimensional space.

The clustering results further demonstrated that model effectiveness is not uniform across all queries. Four distinct query groups were identified in each collection. The first three clusters exhibited stable profiles across TREC-6, TREC-7, and TREC-8. Cluster 1 was associated with the joint dominance of DFIZ and DPH, Cluster 2 with the dominance of BM25 and IFB2, and Cluster 3 with consistently strong DPH performance. In contrast, Cluster 4 showed a corpus-sensitive structure: BM25 was dominant in TREC-6, DFIZ in TREC-7, and DPH in TREC-8. This variation indicates that certain query groups are more sensitive to collection-specific characteristics and that selecting a single fixed weighting model may not provide the best retrieval effectiveness for every query.

Considering the results and findings obtained in this study, the following recommendations are proposed for future academic research:

- **Classification of Query Types:** In future studies, the four clusters obtained through K-Means clustering can be further analyzed in terms of their linguistic and statistical characteristics.
- **Dynamic Model Selection:** Instead of using a fixed weighting model in search engine architectures, a routing mechanism could be designed to dynamically select the most appropriate model based on the predicted cluster of the incoming query.

Overall, the findings support the use of query-dependent model selection in information retrieval systems. A practical extension of this work would be to develop a routing mechanism that predicts the cluster of an incoming query and dynamically assigns the most suitable weighting model. Future studies should also examine the linguistic and statistical properties of the identified clusters, include additional collections and retrieval models, and evaluate whether the observed patterns remain stable when longer query fields or alternative effectiveness measures are used.

REFERENCES

- Amati, G., and Van Rijsbergen, C.J., 2002, Probabilistic models of information retrieval based on measuring the divergence from randomness, *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 20(4):357–389.
- Can, F., and Özkarahan, E. A., 1987, Computation of term/document discrimination values by use of the cover coefficient concept., *Journal of the American Society for Information Science*, 38(3): 171-183.
- Cooper, W.S., and Maron, M.E., 1978, Foundations of probabilistic and utility theoretic indexing, *Journal of the ACM (JACM)*, 26(1):67-80.
- Croft, W.B., and Harper, D.J., 1979, Using probabilistic models of document retrieval without relevance information, *Journal of Documentation*, 35(4): 285-295.
- Harter, S.P., 1975a, A probabilistic approach to automatic keyword indexing, Part I: On the distribution of specialty of words in a technical literature, *Journal of the American Society for Information Science (JASIS)*, 26(4):197-216.
- Harter, S.P., 1975b, A probabilistic approach to automatic keyword indexing, Part II: An algorithm for probabilistic indexing, *Journal of the American Society for Information Science (JASIS)*, 26(4):280-289.
- Hiemstra, D., and de Vries, A.P., 2000, Relating the new language models of information retrieval to the traditional retrieval models, *CTIT Technical Report TR-CTIT-00-09*, Enschede, The Netherlands: University of Twente, 14p.
- Kocabaş, İ., 2011, Statistical Independence-Based Index Term Weighting in Information Retrieval Systems, PhD Thesis, Ege University. National Thesis Center of the Council of Higher Education (YÖK) (Thesis No. 285226), 120p.
- Luhn, H.P., 1958, The automatic creation of literature abstracts, *IBM Journal of Research and Development*, 2(2):159-165.
- Manning, C.D., Raghavan, P., and Schütze, H., 2008, *Introduction to Information Retrieval*, Cambridge University Press, New York, 544p.
- National Institute of Standards and Technology .2026.Text REtrieval Conference (TREC), <https://trec.nist.gov/>, Erişim Tarihi: 1 Şubat 2026.
- Ponte, J. and Croft, B., 1998, A language modeling approach in information retrieval, In *Proceedings of the 21st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 275 281.
- Porter, M., 1980, An algorithm for suffix stripping, *Program*, 14(3):130-137.
- Robertson, S.E., and Sparck Jones, K., 1976, Relevance weighting of search terms, *Journal of the American Society for Information Science (JASIS)*, 27(3):129-146.

- Robertson, S.E., Van Rijsbergen, C.J., and Porter, M., 1980, Probabilistic models of indexing and searching, In Proceedings of the 3rd Annual International ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval, 35-56.
- Salton, G., 1975b, A Theory of Indexing, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 55p.
- Salton, G., and Buckley, C., 1988, Term-weighting approaches in automatic text retrieval, Information Processing and Retrieval, 24(5):513-523.
- Terrier Information Retrieval Platform.2026.Terrier IR Platform Documentation, <https://terrier-core.readthedocs.io/en/latest/>, Access Date: 1 February 2026.
- Terrier Information Retrieval Platform.2026. TERRIER IR web sayfası. <http://terrier.org> , Access Date: 1 February 2026.
- Turtle, H.R., and Croft, W.B., 1992, A comparison of text retrieval models, the Computer Journal, 35(3):279-290.
- Wong, S. K. M. and Yao, Y. Y., 1995, On modeling information retrieval with probabilistic inference, ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 13(1):38-68.
- Varian, H.R., 2005, The digital society: Universal access to information, Communications of the ACM, 48(10):65-66.

PEYNİRALTI SUYU: BİLEŞİMİ, FONKSİYONLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI**

Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, 25240

Erzurum

ORCID ID: 0000-0003-0334-5621**ÖZET**

Süt proteinleri; kazein ve peyniraltı suyu (PAS) proteinleri olmak üzere iki ana fraksiyondan oluşur. PAS, esas olarak peynir üretimi sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan yeşilimsi sarı renkli sıvıdır. PAS yüksek besin değeri, laktoz içeriği, kolay sindirilebilir proteinler, mineraller, lipitler ve suda çözünen vitaminler (B grubu) içermesi nedeniyle; gıda bileşeni olarak ve yem katkı maddelerinin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. PAS proteinleri toplam süt proteininin yaklaşık %20'sini oluşturur. PAS proteinleri giderek daha popüler bir fonksiyonel ve aktif gıda bileşeni olmaktadır. Yüksek organik bileşik ve mineral içeriği nedeniyle PAS, gıda teknolojisi ve tıbbi uygulamalarda değerli bir bileşen olarak kabul görmektedir. Üretilen peynir çeşidi, süt kaynağı ve işleme teknikleri PAS'ın bileşimini önemli ölçüde etkilemektedir. Sürdürülebilir kalkınmaya yönelik modern yaklaşımlar, atıkları azaltmaya ve gıda ve yem endüstrisi için fonksiyonel bileşenler oluşturmaya yardımcı olan bir kaynak olarak PAS'ın işlenmesini teşvik etmektedir. Dünyada üretilen PAS'ın sadece bir kısmı kullanılmakta olup başlıca kullanım alanları arasında sıvı gıda bileşenleri, PAS tozu, laktoz ve türevleri ve protein konsantreleri yer almakta ve bu da PAS'ı gıda ve yem bileşenleri elde etmenin temel kaynağı yapmaktadır. İşleme teknolojilerinin gelişmesi, PAS'ın fonksiyonel gıdaların ve özel diyet takviyelerinin üretiminde kullanılmasını mümkün kılmıştır. PAS proteinlerinin uygun amino asit bileşimi ile karakterize edilmesi ve biyoaktif moleküller açısından zengin bir substrat olması onu fonksiyonel gıda zinciri ve nutrasötik endüstrisi için önemli bir hammadde yapmaktadır. PAS proteinleri, biyolojik olarak aktif peptitlerin mükemmel bir kaynağı olarak kabul edilir. Bu peptitler, diğer etkilerinin yanı sıra antioksidan, antihipertansif ve antimikrobiyal aktivitelere sahip olabilirler. PAS proteininin fizikokimyasal özellikleri de gıda ürünlerine katılması için mükemmel bir bileşen olduğunu göstermektedir. PAS proteininin emülsiyon yapıcı, koyulaştırıcı, jelleştirici, köpük oluşturu ve su bağlayıcı bir madde olduğu belirlenmiştir. PAS'ın rasyonel kullanımı, çevresel yükü azaltırken süt endüstrisinin ekonomik sürdürülebilirliğini de artırmaktadır. İşlemedeki yenilikler hem endüstri hem de tüketici ihtiyaçlarını karşılayan sürdürülebilir ve fonksiyonel PAS bazlı ürünlerin önünü açmıştır/açacaktır.

Anahtar kelimeler: Peyniraltı suyu, bileşim, fonksiyon, biyoaktif peptit, değerlendirme, çevre

WHEY: COMPOSITION, FUNCTIONS AND EVALUATION**ABSTRACT**

Milk proteins consist of two main fractions: casein and whey proteins. Whey is a greenish-yellow liquid that primarily arises as a byproduct of cheese production. Due to its high nutritional value, lactose content, easily digestible proteins, minerals, lipids, and water-soluble vitamins (B group), whey is used as a food component and as a raw material in the production of feed additives. Whey proteins constitute approximately 20% of total milk protein. Whey proteins are becoming an increasingly popular functional and active food component. Because of its high organic compound and mineral content, whey is considered a valuable component

in food technology and medical applications. The type of cheese produced, the milk source, and the processing techniques significantly affect the composition of whey. Modern approaches to sustainable development encourage the processing of whey as a resource that helps reduce waste and create functional components for the food and feed industry. Only a fraction of the whey produced worldwide is used, with its main applications including liquid food ingredients, whey powder, lactose and its derivatives, and protein concentrates, making whey a fundamental source for obtaining food and feed components. Developments in processing technologies have made it possible to use whey in the production of functional foods and specialized dietary supplements. The characteristic amino acid composition of whey proteins and their rich substrate in bioactive molecules make them an important raw material for the functional food chain and the nutraceutical industry. Whey proteins are considered an excellent source of biologically active peptides. These peptides may possess antioxidant, antihypertensive, and antimicrobial activities, among other effects. The physicochemical properties of whey protein also demonstrate its excellent suitability for inclusion in food products. whey protein has been identified as an emulsifying, thickening, gelling, foaming, and water-binding agent. The rational use of whey reduces the environmental burden while increasing the economic sustainability of the dairy industry. Innovations in processing have paved/will pave the way for sustainable and functional whey-based products that meet both industry and consumer needs.

Keywords: Whey, composition, function, bioactive peptide, evaluation, environment

1. GİRİŞ

Peynir altı suyu (PAS) esas olarak, süt endüstrisinde peynir üretimi sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan yeşilimsi sarı renkli sıvıdır. Bileşiminde yaklaşık %85-90 su bulunan PAS'ın kurumadde fraksiyonu laktoz, proteinler, lipitler ve minerallerden oluşur. Toplam süt proteininin yaklaşık %20'sini PAS proteinleri oluşturur (Yadav vd. 2015; de Castro vd. 2017). Dünya genelinde peynir üretiminin fazla olmasına bağlı olarak, ortaya çıkan PAS miktarı da fazladır. Yıllık küresel PAS üretim miktarı yaklaşık 180-190 milyon ton olup bunun yarısından daha az kısmı pratik değere sahip ürünlere işlenmektedir (Mirzakulova vd. 2025). Başlıca kullanım alanları arasında sıvı gıda bileşenleri, PAS tozu (%30 civarında), laktoz ve türevleri (%15) ve protein konsantreleri (El-Tanboly 2017) bulunmaktadır. PAS proteinleri, “genel olarak güvenli olarak kabul edilen” (GRAS) statüsü nedeniyle katma değerli ürünlere dönüştürülebilir, gittikçe daha popüler olan fonksiyonel gıda bileşenleri olarak çeşitli gıda ürünlerinde kullanılabilir.

Uzun süre süt işleme atığı olarak algılanan PAS, teknolojiye gelişmeler ve bilimsel araştırmalarla gıda, ilaç ve biyoteknolojik yolla elde edilen ürünler için önemli bir kaynak olarak kabul edilmiştir (Mirzakulova vd. 2025). Bunun nedenleri olarak; yüksek düzeyde besin maddesi içeren gıda ürünleri ve gıda bileşenlerine olan talepte artış olması ve PAS'ın da kaliteli proteinler, biyolojik olarak aktif polipeptitler, B grubu vitaminler, mineral maddeler ve laktoz içermesi nedeniyle fonksiyonel, atletik ve terapötik ürünlerin oluşturulmasında aktif olarak kullanılır (Arsi'c vd. 2018; Bergamaschi vd. 2018) olması sayılabilir. Ayrıca sürdürülebilir kalkınmaya yönelik modern yaklaşımlar/ilkeler; atıkları azaltmaya ve gıda ve yem endüstrisi için fonksiyonel bileşenler oluşturmaya yardımcı olan bir kaynak olarak PAS'ın işlenmesini teşvik etmektedir. Yıllık PAS üretiminin çok büyük olduğu göz önüne alındığında verimli işleme hem çevresel yükü azaltır hem de ekonomik olarak değerli ürünlerin elde edilmesini sağlar.

2. PEYNİRALTI SUYUNUN BİLEŞİMİ

PAS denilince ilk akla gelen peynir üretiminden arta kalan yan üründür. Peynir yapımında kullanılan süt türü, kurumadde içeriği ve kimyasal bileşimi, üretilen peynir çeşidi ve işleme teknikleri başta olmak üzere mevsimsel ve coğrafi faktörler vb. değişkenlerin tümü PAS'ın bileşimini önemli ölçüde etkilemektedir. PAS'da %93-95 oranında su bulunur (Bergamaschi vd. 2018). Kurumaddeyi oluşturan başlıca bileşenler olarak süt şekeri (laktoz) (%70), PAS proteinleri (%14), mineraller (%7-8), lipitler (%5-6) ve diğer maddeler (%1) sıralanabilir (Buyanova vd. 2021). Kurumadde içinde en çok bulunan bileşen laktoz olup PAS kurumaddesinin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır (sıvı PAS'da yaklaşık %4,5-6,0 kadar) (Morr 1985; Menchik vd. 2019; Mirzakulova vd. 2025). Beslenme fizyolojisi açısından PAS değerli bir kaynaktır. Süt kurumaddesinin yaklaşık yarısını içerir; kurumadde bileşenleri ise süt proteinlerinin yaklaşık %20'sini oluşturan kolay sindirilebilir proteinler, laktoz, mineraller (potasyum, kalsiyum, magnezyum ve fosfor gibi elementler) ve suda çözünen vitaminlerdir (B₁, B₂, B₆, B₁₂) (Fancello 2024). PAS'ın genel kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de görülmektedir. PAS proteini; lösin, valin, izolösin ve sistein gibi metabolizma, sinir fonksiyonu ve homeostazda önemli rol oynayan temel amino asitler açısından zengindir (Patel, 2015). PAS'daki başlıca proteinler β -laktoglobulin (β -LG), glikomakropeptit (GMP), α -laktalbumin (α -LA), immünoglobulinler (Ig'ler), sığır serum albümini, laktoferrin (LF), laktoperoksidaz (LP) ve proteoz peptondur (Yadav vd., 2015).

Genellikle peynir mayası kullanımı nedeniyle sert peynirlerin yan ürünü olan tatlı PAS, daha fazla protein (%0,8-1,0), dallı zincirli amino asitler ve riboflavin gibi sütün B vitaminlerinin %91'ine kadarını içerir. Buna karşılık yumuşak peynir veya yoğurt üretimi işleminden elde edilen asitli PAS, daha yüksek oranda laktoz (%5,5-6,0) ve mineraller (fosfat ve kalsiyum) içerir. Sütten PAS'a geçen en önemli vitaminler riboflavin, folik asit ve kobalamindir. Peynir üretiminde kullanılan laktik asit suşlarının aktivitesi nedeniyle sütten daha fazla B₂ vitamini içerir. Nispeten yüksek riboflavin seviyesi nedeniyle, PAS karakteristik sarımsı-yeşil bir renge sahiptir (Minj vd. 2020; Mirzakulova vd. 2025).

Tablo 1. Tatlı ve asit peyniraltı suyunun bileşimi (Yadav vd. 2015)

Bileşen	Tatlı PAS (g/L)	Asit PAS (g/L)
Toplam kurumadde	63.0-70.0	63.0-70.0
Laktoz	46.0-52.0	44.0-46.0
Protein	6.0-10.0	6.0-8.0
Yağ	5.0	0.4
Laktat	2.0	6.4
Kül	5.0	8.0
Kalsiyum	0.4-0.6	1.2-1.6
Fosfat	1.0-3.0	2.0-4.5
Tuz	1.1	1.1

3. PEYNİRALTI SUYUNUN FONKSİYONLARI

PAS proteini özel fizikokimyasal özellikleri nedeniyle gıda ürünlerinde mükemmel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. PAS; biyolojik ve fonksiyonel kullanımlar için zengin bir protein kaynağı olarak kullanılır. PAS proteinlerinin gıda bileşeni olarak kullanılması; özellikle reolojik ve yapısal özelliklerine dayanarak güçlendirilmiştir (Cinelli vd. 2014; Moakes vd. 2015; Tarhan et al., 2016). PAS proteinleri substrat olarak kullanılarak, fermentasyon veya

enzimatik hidroliz yoluyla biyoaktif peptitler elde edilebilir (de Castro ve Sato, 2015). Yüksek organik bileşik ve mineral içeriği nedeniyle PAS, gıda teknolojisi ve tıbbi uygulamalarda değerli bir bileşen olarak kabul edilmektedir (Borba vd. 2022; O'Donoghue vd. 2023). İşleme teknolojilerinin gelişmesi, PAS'ın fonksiyonel gıdaların ve özel diyet takviyelerinin üretiminde amaçlı olarak kullanılmasını sağlar. Özellikle, PAS'dan elde edilen peptitler, kas iyileşmesini ve bağışıklık sistemi modülasyonunu destekleyen biyoaktif özelliklerinin tespit edilmesi önemini artırmıştır (Fox vd. 2017; Kashung ve Karuthapandian 2025). Ayrıca PAS proteinleri, insan vücut sistemlerinde olumlu bir etkiyi destekleyen belirli amino asit dizileri olarak tanımlanabilen biyoaktif peptitlerin önemli kaynaklarıdır. Bu peptitler, diğer etkilerinin yanı sıra antioksidan, antihipertansif ve antimikrobiyal aktivitelere sahip olabilirler. PAS yüksek besin değeri, laktoz içeriği, kolay sindirilebilir proteinler ve suda çözünen vitaminler (B₁, B₂, B₆, B₁₂) nedeniyle gıda bileşenleri ve yem katkı maddelerinin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

PAS proteini, biyoaktif moleküller açısından zengin bir substrat olduğu için fonksiyonel gıda zinciri ve nutrasötik endüstrisi için önemli bir hammaddedir (Udenigwe ve Aluko, 2012). PAS'ın mineral yapısında potasyum, kalsiyum, magnezyum ve fosfor gibi elementler bulunur. Bu bileşenler sadece PAS'ın besin içeriğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda kardiyovasküler sağlık ve kemik sağlığına yardımcı olmak için tasarlanmış fonksiyonel gıdaların arzu edilen bir bileşeni haline getirir (Bergamaschi 2018; Barzaghi 2021). Örneğin, keçi peynirinden elde edilen PAS, tropikal bölgelerden elde edilen inek PAS'a göre daha yüksek miktarda esansiyel amino asit ve yağ asidi içerdiği için özel beslenme ürünlerinde birinci sınıf bir bileşendir. Bölgesel ve mevsimsel değişkenler de PAS'ın bileşimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. PAS genellikle soğuk iklimlerde daha yüksek yağ ve protein içeriğine sahiptir. PAS'ın bileşimi ayrıca hayvanlara özel diyetler verilmesi gibi bölgesel uygulamalardan da önemli ölçüde etkilenir.

Birçok araştırmada, PAS proteininin emülsiyon yapıcı, koyulaştırıcı, jelleştirici, köpürtücü ve su bağlayıcı bir madde olarak kullanılabileceği ve klasik bileşenlerle üretilenlerle karşılaştırıldığında benzer ve istenen özelliklere sahip ürünler elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir.

Sürdürülebilir kalkınmaya yönelik modern yaklaşımlar; atıkları azaltmaya ve gıda ve yem endüstrisi için fonksiyonel bileşenler oluşturmaya yardımcı olan bir kaynak olarak PAS'ın işlenmesini teşvik etmektedir. Son yıllarda PAS, fermente içecekler ve protein açısından zengin atıştırmalıklar gibi sağlıklı ve çevre dostu ürünler üretmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Iskandaryan vd. 2025).

4. BİYOAKTİF PEPTİT KAYNAĞI OLARAK PEYNİR ALTI SUYU PROTEİNİ

PAS proteini, biyoaktif moleküller açısından zengin bir substrat olduğu için fonksiyonel gıda zinciri ve nutrasötik endüstrisi için önemli bir hammaddedir (Udenigwe ve Aluko, 2012). Genel olarak peptitler, bütün proteinlere göre daha fazla biyolojik aktiviteye sahiptirler (Hafeez vd. 2014; Brandelli vd. 2015; Yadav vd., 2015; de Castro vd. 2017). Proteinlerde bulunan biyolojik özelliklerin ötesinde, hidroliz biyoaktif peptitleri serbest bırakabilir. PAS proteinleri, biyolojik olarak aktif peptitlerin mükemmel bir kaynağı olarak kabul edilir (Hafeez vd., 2014). Biyoaktif peptitler ilaç veya hormon benzeri aktiviteye sahip, vücut fonksiyonlarının fizyolojik yanıtlarını düzenleyerek sağlığı olumlu yönde etkileyen spesifik protein parçalarıdır (Udenigwe ve Aluko 2012; de Castro vd. 2017). Biyoaktivite, peptitteki amino asitlerin boyutuna ve dizilişine bağlıdır (Hafeez vd., 2014). Biyoaktif peptitler, sentetik moleküllere kıyasla biyolojik

etkilerinde daha az güçlü olsalar da organizmada doğal metabolizmaları, kullanımları ve atılımları nedeniyle öne çıkarlar (Li-Chan, 2015).

Literatürde, β -LG'nin protein taşıyıcı ve yağda çözünen vitaminler gibi hidrofobik moleküllerin bağlayıcısı olarak işlev görebileceği; α -LA'nın antikanser ve immünomodülatör aktivitelere sahip olduğu; LF'nin antimikrobiyal ve immünomodülatör aktivitelere sahip olduğu ve LP'nin antiviral ve antiinflamatuvar bir yanıtı sahip olduğu belirtilmiştir (Yadav vd., 2015).

Protein hidrolizatlarının bir diğer önemli işlevi, iskelet kası protein anabolizmasına besin iletimini en üst düzeye çıkarmaktır. Di ve tripeptitler, serbest amino asitlere ve bütün proteinlere kıyasla daha iyi besin değerine sahiptir (Brandelli vd., 2015). Bu biyomoleküller, gastrointestinal, kardiyovasküler, bağışıklık, endokrin ve sinir sistemlerini modüle etme kapasiteleriyle tanımlanmıştır (Hafeez vd., 2014; Patel, 2015; Yadav vd., 2015).

Biyoaktif peptitler, fizikokimyasal ve biyolojik süreçler kullanılarak üretilir. Bu süreçlerden, farklı kaynaklardan elde edilen proteolitik enzimler kullanılarak bitki, hayvan veya mikrobiyal proteinlerin enzimatik hidrolizi, bilimsel araştırmalarda artan bir ilgi görmüştür (Brandelli vd., 2015; Hafeez vd., 2014; Li-Chan, 2015; Yadav vd., 2015). β -LG ve α -LA PAS proteinlerinin pepsin, tripsin ve kimotripsin ile sindirilmesinden sonra antioksidan ve demir bağlayıcı peptit aktiviteleri elde edilir (Hafeez vd., 2014). Son yıllarda, mikrobiyal ve bitkisel proteazların çeşitliliğinin fazlalığı ve bulunabilirliği nedeniyle sindirim dışı enzimlerin kullanımı artmıştır (Brandelli vd., 2015; Hafeez vd., 2014; de Castro vd. 2017). Proteolitik suşlarla fermentasyon, PAS proteinlerinden biyoaktif peptitler üretmek için de kullanılabilir. Bu biyomoleküllerin endüstriyel ölçekte doğrudan mikrobiyal fermentasyon kullanılarak elde edilmesindeki bazı sınırlamalar, enzimatik süreci daha yaygın hale getirmiştir (Madureira vd. 2010; Yadav vd., 2015). Fermentasyon ve enzimatik hidroliz, immünomodülatör, mineral bağlayıcı, çürük önleyici, sitotoksik önleyici, kanser önleyici, antihipertansif, antimikrobiyal, antioksidatif ve antitrombotik aktivitelere sahip peptitler üretebilir (Udenigwe ve Aluko, 2012; Li-Chan, 2015; Patel, 2015; de Castro vd. 2017).

Probiyotikler ve bitkisel katkı maddeleriyle zenginleştirilmiş olanlar da dahil olmak üzere fonksiyonel PAS bazlı içecekler, temiz etiketli, yüksek proteinli ve sağlığı destekleyici içeceklere yönelik artan talebi karşılamak için geliştirilmektedir (de Castro vd. 2017).

5. SONUÇ

PAS'ın etkili kullanımı, çevresel yükleri azaltırken süt endüstrisinin ekonomik sürdürülebilirliğini de artırmaktadır. İşlemedeki yenilikler hem endüstri hem de tüketici ihtiyaçlarını karşılayan sürdürülebilir ve fonksiyonel PAS bazlı ürünlerin önünü açmıştır. PAS için verimli, çevre dostu ve katma değerli kullanımlar geliştirmeye devam edilmelidir. Bir zamanlar atık olarak görülen PAS, artık gıda, tıp, kozmetik ve tarımı kapsayan uygulamalara sahip çok yönlü bir hammaddedir. Gelişmiş teknolojiler, sürdürülebilir ve sağlık odaklı ürünlere yönelik taleplerle uyumlu olarak yüksek kaliteli proteinlerin, laktozun, minerallerin ve biyoaktif bileşiklerin çıkarılmasını sağlamaktadır. PAS'ın etkili olarak kullanımı, çevresel yükleri azaltırken süt endüstrisinin ekonomik sürdürülebilirliğini de artırmaktadır. İşlemedeki yenilikler hem endüstri hem de tüketici ihtiyaçlarını karşılayan sürdürülebilir ve fonksiyonel PAS bazlı ürünlerin önünü açmıştır.

PAS proteininin emülsiyon yapıcı, koyulaştırıcı, jelleştirici ve köpürtücü madde gibi özelliklerinin keşfi, PAS proteinini çok yönlü ve aktif bir bileşen olarak başarılı bir şekilde uygulamak için çok önemli kabul edilebilecek yeni teknolojiler ve yapısal karakterizasyon alanındaki yeterli araştırmalarla sağlanmış görünmektedir. PAS proteinlerinin en umut verici uygulamaları, antihipertansif, antioksidan ve antimikrobiyal etkileri gibi biyolojik özellikleri

nedeniyle potansiyel besin takviyeleri olarak yenilebilir filmlerin, kaplamaların, nanopartiküllerin geliştirilmesi ve biyoaktif peptitlerin üretimidir. PAS proteinlerinin uygulanmasına dayalı yaklaşımların çok yönlülüğü nedeniyle, PAS proteinlerinin yapısal ve işlevsel özelliklerini iyileştirmek ve gıda üretimi için yeni teknolojilerin geliştirilmesinde giderek daha fazla kullanılabilir hale getirmek için daha fazla araştırmanın yapılmaya devam edeceği düşünülmektedir.

Ekonomik açıdan PAS kullanımı, atık işleme maliyetlerinden tasarruf sağlamaya ve daha pahalı hammaddelerin besin açısından eşdeğer alternatiflerle değiştirilmesi yoluyla süt endüstrisi için yeni gelir kaynakları oluşturmaya yardımcı olur. Sağlık açısından, PAS içecekleri, bağışıklık sistemi fonksiyonunu, kas bütünlüğünü ve metabolik kontrolü desteklemek için gerekli amino asitleri, vitaminleri, mineralleri ve biyoaktif peptitleri sağlar. Bu nedenle, PAS'ın içecek üretiminde genel olarak kullanılması sadece koruma ve atık azaltımına değil, aynı zamanda tarımsal gıda sistemlerinin ekonomik sürdürülebilirliğine ve kamu refahına da yol açmaktadır. İleriye dönük olarak PAS'ın kullanımının geleceği; hassas fermantasyon, akıllı ambalajlama, yapay zeka tabanlı süreç optimizasyonu vb. konulara odaklanacak görülmektedir.

KAYNAKLAR

Arsi'c S, Bulatovi'c M, Rakin M, Jelo'cnik M, Subi'c J. (2018). Economic and ecological profitability of the use of whey in dairy and food industry. *Large Animal Review* 24, 99–105.

Barzaghi S, Monti L, Marinoni L, Cattaneo TMP. (2021). Chemometrics for the identification of nitrogen and acid compounds in milk-whey as by-products from Crescenza and Grana Padano type cheese-making. *Molecules* 26, 4839.

Bergamaschi M, Bittante G. (2018). From milk to cheese: Evolution of flavor fingerprint of milk, cream, curd, whey, Ricotta, Scotta, and Ripened cheese obtained during Summer Alpine Pasture. *Journal of Dairy Science* 101, 3918–3934.

Borba KKS, Gadelha TS, Sant'Ana AMS, Pacheco MTB, Pinto LS, Madruga, MS, Medeiros AN, Bessa RJB, Alves SPA, Magnani M. et al. (2022). Fatty acids, essential amino acids, minerals and proteins profile in whey from Goat cheese: Impacts of raising system. *Small Ruminant Research* 217, 106842.

Brandelli A, Daroit DJ, Corrêa APF. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. *Food Research International* 73, 149–161.

Buyanova IV, Lupinskaya SM, Ostroumov LA, Mazeeva IA (2021). Innovative low temperature methods of milk whey processing. *IOP Conf. Ser. Earth and Environmental Science* 640, 032007.

Cinelli P, Schmid M, Bugnicourt E, Wildner J, Bazzichi A, Anguillesi I, Lazzeri A. (2014). Whey protein layer applied on biodegradable packaging film to improve barrier properties while maintaining biodegradability. *Polymer Degradation and Stability* 108, 151–157.

de Castro, RJS, Domingues MAF, Ohara A, Okuro, PK, dos Santos JG, Brexó RP, Sato HH. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Review Food Structure* 14, 17-29.

de Wit JN. (1998). Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food product. *Journal of Dairy Science* 81, 597–608.

El-Tanboly E. (2017). Recovery of cheese whey, a by-product from the dairy industry for use as an animal feed. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering* 6, 148.

- Fancello F, Zara G, Hatami F, Scano EA, Mannazzu I. (2024). Unlocking the Potential of Second Cheese Whey: A Comprehensive Review on Valorisation Strategies. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 23, 411–441.
- Fox PF, Guinee TP, Cogan TM, McSweeney PLH. (2017). *Fundamentals of Cheese Science*; Springer: Boston, MA, USA, 2017; ISBN 978-1-4899-7679-6.
- Hafeez Z, Cakir-Kiefer C, Roux E, Perrin C, Miclo L, Dary-Mourot A. (2014). Strategies of producing bioactive peptides from milk proteins to functionalize fermented milk products. *Food Research International*, 63, 71–80.
- Iskandaryan M, Baghdasaryan L, Minasyan E, Trchounian K, Antranikian G, Poladyan A. (2025). A novel, cost-effective approach for the production of hydrogenase enzymes and molecular hydrogen from recycled whey-based by-products. *International Journal of Hydrogen Energy* 140, 1191–1202.
- Jelen P, Currie R, Kadis VW. (1987). Compositional Analysis of Commercial Whey Drinks. *Journal of Dairy Science* 70, 892–895.
- Kashung P, Karuthapandian D. (2025). Milk-derived bioactive peptides. *Food Production, Processing and Nutrition* 7, 6.
- Li-Chan EC. (2015). Bioactive peptides and protein hydrolysates: Research trends and challenges for application as nutraceuticals and functional food ingredients. *Current Opinion in Food Science* 1, 28–37.
- Madureira AR, Tavares T, Gomes AMP, Pintado ME, Malcata FX. (2010). Invited review: Physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins. *Journal of Dairy Science* 93(2), 437–455.
- Menchik P, Zuber T, Zuber A, Moraru CI. (2019). Composition of coproduct streams from dairy processing: Acid whey and milk permeate. *Journal of Dairy Science* 102, 3978–3984.
- Minj S, Anand S. (2020). Whey proteins and its derivatives: Bioactivity, functionality, and current applications. *Dairy* 1(3), 233–258.
- Mirzakulova A, Sarsembaeva T, Suleimenova Z, Kowalski Ł, Gajdzik B, Wolniak R, Bembenek M. (2025). Whey: Composition, processing, application, and prospects in functional and nutritional beverages—A review. *Foods* 14, 3245.
- Moakes R JA, Sullo A, Norton IT. (2015). Preparation and characterisation of whey protein fluid gels: The effects of shear and thermal history. *Food Hydrocolloids* 45, 227–235.
- Morr CV. (1985). Composition, physicochemical and functional properties of reference whey protein concentrates. *Journal of Food Science* 50, 1406–1411.
- O'Donoghue LT, Murphy EG. (2023). Nondairy food applications of whey and milk permeates: Direct and indirect uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 22, 2652–2677.
- Patel S. (2015). Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead. *Journal of Functional Foods* 19, 308–319.
- Tarhan O, Spotti MJ, Schaffter S, Corvalan CM, Campanella OH. (2016). Rheological and structural characterization of whey protein gelation induced by enzymatic hydrolysis. *Food Hydrocolloids* 61, 211–220.
- Udenigwe CC, Aluko RE. (2012). Food protein-derived bioactive peptides: Production, processing, and potential health benefits. *Journal of Food Science* 77(1), R11–R24.
- Yadav JSS, Yan S, Pilli S, Kumar L, Tyagi RD, Surampalli RY. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances* 33, 756–774.

GIDA KALİTESİ, GÜVENLİĞİ VE GÜVENCESİ ÜZERİNE DEĞERLENDİRMELER

Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI

Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, 25240 Erzurum,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-0334-5621

Dr. Öğr. Üyesi Bilgehan POLATOĞLU

Atatürk University, Technical Sciences Vocational School, Department of Food Technology,
Erzurum

Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of
Nanoscience and Nanoengineering, 25240 Erzurum, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-2554-6272

ÖZET

Gıda güvenliği ve güvencesi tüm dünya ülkelerinde öncelikli ilk konulardır. Gıda güvenliği, gıda güvencesinin bir koşulu olup gıdaların üretiminden tüketimine kadar geçen tüm aşamalarda insan sağlığına zarar verebilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerin önlenmesi ve kontrol altına alınması sürecidir. Gıda güvenliği, tüketicileri sadece hastalıklardan korumaz aynı zamanda güveni artırır ve uluslararası pazarlara erişimi sağlar. Gıda güvencesi ise herkesin her zaman sağlıklı bir hayat sürdürmesi için yeterli miktarda güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak güvenli bir şekilde erişmesidir. Gıda güvenliği ve güvencesi stratejileri birlikte incelendiğinde; beslenme ihtiyaçlarını karşılamak ve sağlıklı bir hayat sürdürmek için miktarda yeterli, güvenli, besin değeri açısından yeterli (proteinler, vitaminler, mineraller vb.), kültürel olarak kabul edilebilir, duyuşal, tekstürel ve fonksiyonel özellikler gibi gıda kalitesini oluşturan özelliklere de odaklanan sağlıklı gıdanın bulunabilirliğini ve erişilebilirliğini kapsar. Gıda kalitesi, güvenliği ve güvencesinin sağlanmasında yeni tekniklerin, kaynakların ve materyallerin önemi giderek artmaktadır. Mevcut üretim süreçleri bölgesel dengenin ve ekosistem sağlığının korunmasından ödün vermeden, sağlıklı beslenme sorununu çözmede başarısız olabilmekte ve maalesef çevresel zararlar ve sosyal adaletsizlikler oluşturmaktadır. Üretim, gelir eşitsizliği ve fiyatlardaki değişiklikler gıdaya erişim sorunlarını artırmakta dolayısıyla beslenmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Gıda talebinin çevresel etkilerinin en aza indirilerek sosyal fırsatların en üst düzeye çıkarılarak sürdürülebilir bir şekilde ele alınması, her zaman zor olsa da gerekmektedir. Güçlü uluslararası gıda güvenliği sistemleri, tüm dünyada gıda kaynaklı hastalık oranlarını azaltabilir, tüketici güvenliğini artırabilir ve uluslararası ticareti kolaylaştırabilir. Ancak artan nüfusa karşılık azalan kaynaklar dikkate alındığında; kaynak israfının önlenmesi, gıda ve tarımsal atıkların değerlendirilmesi, yenilebilir ve besleyici gıdaların kurtarılması ve gıda güvencesizliği yaşayan insanlara dağıtılmasının önemi gittikçe daha fazla anlaşılmakta/anlaşılmalıdır. Bu çalışmada konu detaylı olarak açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Gıda güvenliği, gıda güvencesi, sağlık, beslenme, gıda kalitesi, sürdürülebilirlik

ASSESSMENTS ON FOOD QUALITY, SAFETY AND SECURITY

ABSTRACT

Food safety and security are top priorities in all countries worldwide. Food safety is a prerequisite for food security and is the process of preventing and controlling physical, chemical, and biological hazards that can harm human health at all stages from food production to consumption. Food safety not only protects consumers from disease but also increases their level of trust and provides them with access to international markets. Food security, on the other hand, is the physical, social, and economic access of everyone to sufficient quantities of safe and nutritious food to ensure a healthy life at all times. When food safety and security strategies are examined together, they encompass the availability and accessibility of healthy food, focusing on the characteristics that constitute food quality, such as sufficient quantity, safety, nutritional value (proteins, vitamins, minerals, etc.), and culturally acceptable, sensory, textural, and functional properties, to meet nutritional needs and maintain a healthy life. The importance of new techniques, resources, and materials in ensuring food quality, safety, and security is increasing. Existing production processes may fail to solve the problem of healthy nutrition without compromising regional balance and ecosystem health and, unfortunately, may cause environmental damage and social injustices. Production, income inequality, and price fluctuations exacerbate problems of access to food, thus negatively impacting nutrition. Addressing food demand sustainably, minimizing environmental impacts and maximizing social opportunities are always challenging but necessary. Strong international food security systems can reduce foodborne illness rates worldwide, increase consumer confidence, and facilitate national and international trade. However, considering the dwindling resources in the face of a growing population, the importance of preventing resource waste, utilizing food and agricultural waste, recovering edible and nutritious food, and distributing it to people experiencing food insecurity is increasingly understood/should be understood. This study explains the subject in detail.

Keywords: Food safety, food security, health, nutrition, food quality, sustainability

1. GİRİŞ

Gıda güvenliği, gıdaların üretimden tüketime kadar geçen tüm aşamalarında insan sağlığına zarar verebilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerin önlenmesi ve kontrol altına alınması sürecidir. Gıda güvenliği, insan sağlığı için temel bileşen olup refahın da kritik bir belirleyicisidir. Gıda tedarikinin zararlı kontaminasyondan arındırılmış olmasını sağlamak, tüketicileri sadece hastalıklardan korumakla kalmaz, aynı zamanda güveni artırır ve uluslararası pazarlara erişimi sağlar. Günümüzde, ülkelerin halk sağlığını koruması ve rekabetçi kalabilmeleri için katı gıda güvenliği standartlarına uymaları gerekmektedir (Grace 2023; Mustafa vd. 2025).

Gıda güvencesi ise herkesin her zaman aktif ve sağlıklı bir yaşam için beslenme ihtiyaçlarını ve gıda tercihlerini karşılayan yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak erişime sahip olduğu bir durumdur (FAO 2022). Bir başka ifadeyle, insanların normal büyüme, gelişme ve aktif ve sağlıklı bir hayat için yeterli miktarda güvenli ve besleyici gıdaya güvenli bir şekilde erişebildiği durumdur (Agard vd. 2014). Böylece gıda güvencesi kavramının gıda güvenliğini de kapsadığı söylenebilir. Mikro açıdan gıda güvencesi, hane halkının sağlıklı ve yeterli beslenebilmeleri, makro açıdan ise tüm ülkelerde yeterli gıda temininin sağlanması ve bunun için ulusal ve uluslararası düzenlemelerin, iş birliklerinin, strateji ve eylem planlarının oluşturulmasıdır (Koç ve Uzmay 2015). Gıda güvencesinde, üç temel koşulun karşılanmasını

gerektirir: 1) Yeterlilik, yani yerli üretim, stoklar ve ithalattan elde edilen kaynakların ülkenin ihtiyaçlarını karşılamaya yeterli olması, 2) Erişilebilirlik, yani yıl boyunca hem mekânsal hem de zamansal olarak arzın istikrarlı olması ve 3) Erişim, yani nüfusun gıda ihtiyaçlarına erişebilmek için yeterli satın alma gücüne sahip olması (FAO 1997).

Gıda güvenliği yönetimi; çevre, tarım, gıda ve ekonomi bilimini kapsayan çok yönlü bir kavramdır (Shen vd. 2021). Gıda güvenliği ve güvencesi beslenme ihtiyaçlarını karşılamak ve sağlıklı bir hayat sürdürmek için miktarca yeterli, güvenli, kültürel olarak kabul edilebilir, besin değeri açısından yeterli, sağlıklı ve besleyici gıdanın bulunabilirliğini ve erişilebilirliğini kapsar (Qasrawi vd. 2023; Oyelami vd. 2023; Albayrak 2024; Çakmakçı ve Çakmakçı 2024). Bahsedilen kapsamdaki gıdanın da tüm bireylerin ihtiyaç ve tercihlerini karşılayacak şekilde fiziksel ve ekonomik olarak erişilebilir olması gerekir.

2. GIDA GÜVENLİĞİ VE GÜVENCESİ STRATEJİLERİ

Gıda güvenliğinin temel ilkeleri; gıdaların sağlığa zararlı etkenlerle bulaşmasını önlemek, bu etkenlerin çoğalmasını durdurmak, riskleri yok etmek veya güvenli seviyeye indirmektir. Gıda güvenliği stratejileri; gıdanın sadece miktarına değil, besin maddeleri (proteinler, vitaminler, mineraller vb.) ile duyuşal, tekstürel ve fonksiyonel özellikler gibi gıda kalitesini oluşturan özelliklere de odaklanmaktadır (Çakmakçı ve Çakmakçı 2023; Çakmakçı vd. 2024). Gıdanın bütünlüğü, stabilitesi ve güvenliğini sağlama zorunluluğu gibi güçlüklerle başlayan gıda teknolojisi, zamanla lezzetli gıda ürünlerinin geliştirilmesine ve sonra da sağlık ve refaha odaklanmıştır (Silva vd. 2018; Augusto 2020). Gıda üretiminde en az bozulma ve en az maliyetle güvenli, kaliteli ve besleyici gıdalar üretilmiş olsa da görünüş, lezzet ve tekstür gibi duyuşal özellikler de dikkate alınmalıdır. Çünkü duyuşal özellikleri tüketiciler tarafından kabul görmeyen gıdaların pazarlamada/tüketimde sürdürülebilirliği mümkün değildir. Gıda güvenliği insanların üretken bir yaşam için yeterli gıdaya erişiminin sağlanmasıyla birlikte, taze, özgün ve lezzetli ürünlere yönelik taleplerini kapsamaktadır (Gupta vd. 2023). Özetle, daha güvenli ve istikrarlı ürünler elde edildikten sonra, gıdanın besin ve duyuşal yönleri süreç tasarımının hedefleri haline gelir (Çakmakçı vd. 2024).

Gıda üretiminin temel amacı insan beslenmesi olmasına rağmen insanların gıda seçimlerinde sadece lezzet/beğenilirlik ve besin değerleri değil, aynı zamanda dini, kültürel geçmiş, ekonomik veya sosyal statü ve çevresel faktörler de etkili olmaktadır (Çakmakçı ve Çakmakçı 2024). Gıda arzının yanı sıra gıda güvencesi; bölgesel erişilebilirlik, gıda tedariki, kullanımı, satın alma gücü, gıda kalitesi, siyasi ve sosyo-ekonomik istikrarla da ilgilidir (Xie vd. 2021).

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR GIDA GÜVENLİĞİ VE GÜVENCESİ İÇİN TAVSİYELER

Gıda güvenliğinin sağlanmasına yönelik özel tavsiyeler arasında agroekoloji, sürdürülebilirlik ve ekosistemlerin dayanıklılığının artırılmasının yanı sıra toprak sağlığının korunması ve üreticilerin ekonomik risklere karşı hassasiyetinin azaltılması (Çakmakçı vd. 2023), gıda sistemlerinin dönüştürülmesi, (Horton 2023); küçük ölçekli çiftçilerin modern tarıma organik olarak entegre olmalarının desteklenmesi ve teşvik edilmesi (Heitala vd. 2021), bitkisel kaynaklı gıda tüketiminin teşvik edilmesi (Parodi vd. 2018), diyetlerin bileşiminin optimize edilmesi, gıda israfının azaltılması ve tahıl tüketiminde bileşimin ayarlanması (Wang, 2019; Liu vd. 2020) sayılabilir. Gıda kalitesi, güvenliği ve güvencesinin sağlanmasında yeni tekniklerin, kaynakların ve materyallerin önemi de giderek artmaktadır (Gupta vd. 2023).

Gıda üretim süreçlerinin en başında çözülmesi gereken ilk zorluk güvenlik olup halen devam etmekte ve yeni ürün ve teknolojiler geliştirildikçe geleceğin en önemli zorluklarından biri olarak güncelliğini koruyacağı düşünülmektedir. Mevcut üretim süreçleri bölgesel dengenin ve

ekosistem sağlığının korunmasından ödün vermeden, sağlıklı beslenme sorununu çözmede başarısız olmakta, maalesef çevresel zararlar ve sosyal adaletsizlikler oluşturmaktadır (Zimmerer vd. 2021; Çakmakçı vd. 2023; Çakmakçı vd. 2024). Güvenlikten sonraki zorluk, güvenli ürünlerin mikrobiyolojik, kimyasal, fiziksel ve biyokimyasal stabiliteilerinin garanti edilerek korunmasıdır (Augusto 2020).

Üretim ve gelir eşitsizliği de gıdaya erişim sorunlarını artırmaktadır. Gelir ve fiyatlardaki değişiklikler beslenmeyi olumsuz yönde etkilemekte ve gıda kalitesi/besin maddesi içeriğinin geleceği düşünülmemektedir (Mylona vd. 2018). Gıda talebinin çevresel etkilerini en aza indirerek ve sosyal fırsatları en üst düzeye çıkararak sürdürülebilir bir şekilde ele alınması gerekmekte ancak bunun her zaman mümkün olabileceğini söylemek zor görünmektedir.

4. GIDA GÜVENLİĞİ VE GÜVENCESİNDE RİSKLER

Gıda güvenliği riskleri tipik olarak biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeler olarak sınıflandırılır ve her kategori belirli laboratuvar test yeterliliklerini gerektirir. Biyolojik tehlikeler patojen bakterileri, virüsleri veya parazitleri içerir; kimyasal tehlikeler toksik metaller, pestisitler ve katkı maddeleri gibi kirleticileri kapsar; fiziksel tehlikeler ise gıdaya bir şekilde girebilecek olan yabancı cisimleri (örneğin, cam veya metal parçaları) içerir (Mustafa vd. 2025). Yeterlilik test şemaları, bu risk türlerinin her birini ele almak üzere uyarlanabilir ve laboratuvarların gıda kirleticilerinin tüm yelpazesini tespit etmede yetkin olmasını sağlar (Mustafa vd. 2025). Gıda güvenliğinde insan sağlığının korunması için belirlenen ve öncelikli olarak dikkate alınması gereken iki grup risk bulunmaktadır: Gıdalardaki mikrobiyolojik riskler ve Gıdalardaki kimyasal riskler (kontaminantlar) (Çakmakçı 2022; Karakaya 2026). WHO, bu riskler arasında gıda katkılarını göstermemiş olup neden olarak da WHO'nun ilgili birimlerinin de içinde olduğu mevcut sistemin ancak insan sağlığı için güvenli kabul ettiği gıda katkı maddelerinin kullanımına izin vermesidir. Gıda katkıları konusunda bir riskten söz edilecekse bu ancak onaylanmamış kimyasalların katkı olarak kullanılması veya onaylanan katkıların belirlenen koşullar dışında kullanılması durumunda söz konusudur (Karakaya 2026).

Gıda güvencesinin teşvik edilmesi; yetersiz beslenme, besin ögesi eksiklikleri ve açlıktan kaynaklanan kronik hastalıkların önlenmesi yoluyla halk sağlığını iyileştirir. Yenilebilir, besleyici gıdaların kurtarılması ve gıda güvencesizliği yaşıyan bireylere dağıtılması, gıda israfı ve gıda güvencesizliğinde eş zamanlı azalmalar yoluyla hem çevre hem de halk sağlığını destekleyebilir (Royer 2024).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gıda güvenliği ve güvencesi tüm dünya ülkelerinde öncelikli ilk konular arasındadır. Gıda güvenliği gıda güvencesinin bir koşulu olup gıda güvencesi kapsamında değerlendirildiğinde; tüketicilerin sağlıklı, yeterli ve sürekli olarak gıdaya her zaman ulaşılabilirliği, beslenmede kritik önem taşımaktadır. Gıda erişimindeki engellerin ortadan kaldırılması, gıda güvensizliği sorununu hafifletmek için şarttır. Güçlü ulusal ve uluslararası gıda güvenliği sistemleri, tüm dünyada gıda kaynaklı hastalık oranlarını azaltabilir, tüketici güvenliğini artırabilir ve ulusal ve uluslararası ticareti kolaylaştırabilir. Ancak artan nüfusa karşılık azalan kaynaklar dikkate alındığında kaynak israfının önlenmesi ile gıda ve tarımsal atıkların değerlendirilmesinin de önemi gittikçe daha fazla anlaşılmakta/anlaşılmalıdır.

KAYNAKLAR

Agard J, Schipper ELF, Birkmann J, Campos M, Dubeux C, Nojiri Y, Olsoon L. et al. (2014). Glossary. Book: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, p: 1757–1776.

- Albayrak T. (2024). Gıda güvencesini sağlamak herkesin sorumluluğunda. Tarım ve Orman Dergisi, Temmuz-Ağustos, Özel Haber.
<https://www.turktarim.gov.tr/EDergi/284/mobile/html5forpc.html>
- Augusto PED. (2020). Challenges, trends and opportunities in food processing. Current Opinion in Food Science 35, 72–78.
- Çakmakçı S. (2022). Gıda Katkı Maddeleri (7. Bölüm), s.171-194, In: Endüstriyel Gıda Üretim Teknikleri. Eds.: Şanlıbaba P., Güçer Y.), Nobel Yayınevi. ISBN: 978-625-417--615-9.
- Çakmakçı S, Çakmakçı R. (2023). Quality and nutritional parameters of food in agri-food production systems. Foods 12, 351.
- Çakmakçı R, Salık MA, Çakmakçı S. (2023). Assessment and principles of environmentally sustainable food and agriculture systems. Agriculture 13(5), 1073.
- Çakmakçı S, Çakmakçı R. (2024). Geleceğe yönelik gıda üretim stratejileri ve alternatif protein kaynakları s 253-276. (11. Bölüm). DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14277436>. Tarıma Çok Yönlü Yaklaşım: Ürün ve Bilgi Üretimi 1. Editörler: Nurhan Keskin, Zeliha Gökbayrak, Burçak İşçi. İKSAD Publications-2024©. ISBN: 978-625-367-980-4
- Çakmakçı S, Polatoğlu B, Çakmakçı R. (2024). Foods of the future: Challenges, opportunities, trends, and expectations. Foods 13(17), 2663.
- FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome (1997). Strategic grain reserves-Guidelines for their establishment, management and operation. <https://www.fao.org/4/w4979e/w4979e05.htm#definitions> (FAO Agricultural Services Bulletin- 126) M-66. ISBN 92-5-103979-8
- FAO (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. ANNEX 7: Glossary. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6ca1510c-9341-4d6a-b285-5f5e8743cc46/content/sofi-2022/annexes7.html>
- Grace D (2023). Burden of foodborne disease in low-income and middle-income countries and opportunities for scaling food safety interventions. Food Security 15(6), 1475–1488.
- Gupta AK, Pratiksha, Das T, Kumar H, Rastogi S, Espinosa E, Rinçon E, Morcillo-Martin R, Rather MA, Kumar V, Naik B, Makroo HA, Xiao HW, Ranjan R., Mishra S. (2023). Novel food materials: Fundamentals and applications in sustainable food systems for food processing and safety. Food Bioscience 55, 103013.
- Heitala R, Liu P, Qi S. (2021). Does small-scale organic farming contribute to the local environment-a case study in suburban Shanghai, China. Agronomy 11(8), 1601.
- Horton P. (2023). A sustainable food future. Royal Society Open Science 10, 230702.
- Karakaya AE. (2026). Gıda Katkı Maddeleri ve Gıda Kontaminantları. <https://www.turktox.org.tr/assets/gida/index.php?p=toksikoloji> (Erişim: 20.07.2026)
- Koç G, Uzman A. (2015). Gıda güvencesi ve gıda güvenliği: kavramsal çerçeve, gelişmeler ve Türkiye. Tarım Ekonomisi Dergisi 21(1), 39-48 39.
- Liu X, Shi LJ, Bernie AE, Sun SK, Zhao XN, Wu PT, Wang YB. (2020). New challenges of food security in Northwest China: Water footprint and virtual water perspective. The Journal of Cleaner Production, 245.
- Mustafa RM, Ahmed BJ, Ismael A, Qader R, Taher SG, Hussein, RA (2025). Strengthening food safety in Iraq through proficiency testing: enhancing laboratory competence and quality assurance: A review. Accreditation and Quality Assurance 30, 445–455.

- Mylona K, Maragkoudakis P, Miko L, Bock A.-K, Wollgast J, Caldeira S, Ulbertha F. (2018). Viewpoint: Future of food safety and nutrition- Seeking win-wins, coping with trade-offs. *Food Policy* 74, 143–146.
- Oyelami LO, Edewor SE, Folorunso JO, Abasilim UD. (2023). Climate change, institutional quality and food security: Sub-Saharan African experiences. *Scientific African* 20, e01727.
- Parodi A, Leip A, De Boer IJM, Slegers PM, Ziegler F, Temme EHM, Herrero M, Tuomisto H, Valin H, van Middelaar CE, et al. (2018). The potential of future foods for sustainable and healthy diets. *Nature Sustainability* 1(12), 782–789.
- Qasrawi R, Hoteit M, Tayyem R, Bookari K, Al Sabbah H, Kamel I, Al-Halawa DA. (2023). Machine learning techniques for the identification of risk factors associated with food insecurity among adults in Arab countries during the COVID-19 pandemic. *BMC Public Health* 23, 1805.
- Royer MF. (2024). The folly of food waste amidst food insecurity in the United States: A literature review. *Challenges* 15(2), 21.
- Shen C, Wei M, Sheng Y. (2021). A bibliometric analysis of food safety governance research from 1999 to 2019. *Food Science and Nutrition* 9, 2316-2334.
- Silva VL, Sereno AM, Sobral PJA. (2018). Food industry and processing technology: on time to harmonize technology and social drivers. *Food Engineering Reviews* 10, 1-13.
- Wang YS. (2019). The challenges and strategies of food security under rapid urbanization in China. *Sustainability* 11, 542.
- Xie H, Wen Y, Choi Y, Zhang X. (2021). Global trends on food security research: A bibliometric analysis. *Land* 10, 119.
- Zimmerer KS, Bell MG, Chirisa I, Duvall CS, Egerer M, Hung, PY, Lerner AM, Shackleton C, Ward JD, Yacamán Ochoa C. (2021). Grand challenges in urban agriculture: Ecological and social approaches to transformative sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5, 668561.

**SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİNDE ÖĞRENİM GÖREN ÖĞRENCİLERİN
PROBLEM ÇÖZME VE KARIYER PLANLAMA SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ
(KÜTAHYA İLİ ÖRNEĞİ)**

Novruz ABUZARLI

Kütahya Dumlupınar University, Graduate School of Education, Department of Physical
Education and Sports, 43100 Kirazpınar, Kütahya

ORCID ID: 0009-0002-5157-0743

Prof. Dr. Oğuzhan YÜKSEL

Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Sports Sciences, Department of Recreation,
43100 Kirazpınar, Kütahya

ORCID ID: 0000-0002-4172-8298

Prof. Dr. Hakan KARA

Kütahya Dumlupınar University Kütahya School of Social Sciences Vocational College,
43100 Kirazpınar, Kütahya

ORCID ID: 0000-0001-9480-4904

Bu makale yazarın YÖK Tez Merkezindeki 10804125 numaralı, Kütahya Dumlupınar Üniversitesinde Prof. Dr. Oğuzhan YÜKSEL danışmanlığında yürütülen, Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, spor bilimleri fakültesi öğrencilerinin problem çözme becerileri ile kariyer planlama düzeylerini çeşitli değişkenler açısından incelemektir. Araştırmanın örneklemini, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesinde öğrenim gören ve amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenen 314 kadın ve 365 erkek olmak üzere toplam 679 öğrenci oluşturmuştur. Veriler, Problem Çözme Envanteri ile Kariyer Planlama Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Analizlerde bağımsız örneklem t-testi ve tek yönlü varyans analizinden yararlanılmış, anlamlılık düzeyi $p < .05$ olarak kabul edilmiştir.

Bulgular, öğrencilerin problem çözme ve kariyer planlama puanlarının cinsiyet, spor türü, sınıf düzeyi, aktif spor yapma durumu ve ekonomik düzeye göre bazı alt boyutlarda anlamlı biçimde farklılaştığını göstermiştir. Erkek öğrencilerin aceleci, değerlendirici ve kendine güvenli problem çözme puanları; kadın öğrencilerin ise kariyer farkındalığı puanları daha yüksek bulunmuştur. Bireysel spor yapan öğrencilerin düşünen, kendine güvenli ve planlı problem çözme puanlarının; takım sporu yapanların ise mesleki farkındalık ve kariyere yönelik inanç düzeylerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aktif spor yapan öğrencilerin problem çözme ve kariyer planlamanın birçok boyutunda spor yapmayan öğrencilere göre daha yüksek puan aldığı görülmüştür.

Sonuç olarak spor bilimleri öğrencilerinin problem çözme ve kariyer planlama süreçlerinin bireysel, akademik, sportif ve ekonomik özelliklere göre farklılaşabildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kariyer, Problem Çözme, Spor

AN ANALYSIS OF PROBLEM-SOLVING AND CAREER PLANNING PROCESSES AMONG STUDENTS ENROLLED IN THE FACULTY OF SPORTS SCIENCES (THE CASE OF KÜTAHYA PROVINCE)

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the problem-solving skills and career planning levels of students in the Faculty of Sports Sciences in terms of various variables. The study sample consisted of a total of 679 students—314 women and 365 men—enrolled in the Faculty of Sports Sciences at Kütahya Dumlupınar University, selected using a purposive sampling method. Data were collected using the Problem-Solving Inventory and the Career Planning Scale. Independent samples t-tests and one-way analysis of variance (ANOVA) were used in the analyses, with a significance level of $p < .05$.

The findings revealed that students' problem-solving and career planning scores differed significantly across certain subdimensions based on gender, type of sport, grade level, participation in organized sports, and economic status. Male students scored higher on impulsive, evaluative, and self-confident problem-solving subscales, while female students scored higher on career awareness. It was determined that students participating in individual sports had higher scores in reflective, self-confident, and planned problem-solving, while those participating in team sports had higher levels of career awareness and career-related beliefs. Additionally, students who actively participated in sports were found to have higher scores than non-athletes in many dimensions of problem-solving and career planning.

In conclusion, it was determined that the problem-solving and career planning processes of sports science students can vary depending on individual, academic, athletic, and economic characteristics.

Keywords: Career, Problem Solving, Sports

1. GİRİŞ

Bireyler, yaşamlarının farklı dönemlerinde akademik, sosyal, mesleki ve kişisel sorunlarla karşılaşmakta ve bu sorunları çözebilmek için düşünsel, duygusal ve davranışsal becerilerinden yararlanmaktadır. Yaşam sürecinde çok çeşitli durum ve güçlüklerle karşılaşması, problem çözmenin temel bir yaşam becerisi olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır (Kuru ve Karabulut, 2009). Aksoy'a (2003) göre problem, bireyin ulaşmak istediği hedefe yönelmesini güçleştiren engellerden kaynaklanmaktadır. D'Zurilla ve Nezu (2001) ise problemi, bireyin çevresine uyum sağlayabilmek amacıyla bir tepki geliştirmesini gerektiren ancak karşılaşılan çeşitli engeller nedeniyle etkili çözümün hemen üretilmediği bir yaşam durumu veya görev olarak ele almaktadır.

Öğülmüş (2006), problem çözmeyi bireyin var olan durum ile hedeflenen durum arasındaki mesafeyi fark etmesi ve bu mesafeyi ortadan kaldırmak amacıyla bilişsel ve davranışsal girişimlerde bulunması şeklinde açıklamaktadır. Demirel'e (1994) göre ise problem çözme, belirlenen amaca ulaşmayı sağlayabilecek seçenekler arasından en uygun araç ve yöntemlerin seçilerek etkili biçimde kullanılmasıdır. D'Zurilla ve Nezu (2001), bu süreci bireyin günlük yaşamında karşılaştığı sorunlara uyum sağlayıcı ve işlevsel çözümler geliştirmeye çalıştığı, kişinin kendisi tarafından yönlendirilen bilişsel-davranışsal bir yapı olarak değerlendirmektedir.

Problem çözme süreci genellikle problemin varlığının fark edilmesiyle başlamakta ve sorunun açık biçimde tanımlanmasıyla devam etmektedir. Bu aşamaları probleme ilişkin gerekli

bilgilerin toplanması, olası çözüm yollarının oluşturulması, seçeneklerin değerlendirilmesi, en uygun çözümün seçilmesi, seçilen yöntemin uygulanması ve elde edilen sonuçların incelenmesi izlemektedir (Bingham, 1998; Stevens ve Çimen, 1998). Adams (1991), problem çözme sürecinin en zor aşamalarından birinin çözülmesi gereken asıl problemin belirlenmesi olduğunu ifade etmektedir. Benzer şekilde Ammerman (1998), problem tanımlama aşamasında yapılan hataların daha sonraki analiz, karar ve uygulama basamaklarının tamamını olumsuz etkileyebileceğine dikkat çekmektedir.

Heppner ve Krauskopf (1987), bireyin problem çözme yeterliğine yönelik öz değerlendirmesinin, problemleri yaşam olayları karşısında geliştirdiği bilişsel ve duyuşsal tepkilerin anlaşılması bakımından önemli olduğunu belirtmektedir. Benzer biçimde Heppner vd. (2004), problem çözme becerisinin bireyin kendi yeterliğine ilişkin inançları, beklentileri ve sorunlarla başa çıkabileceğine yönelik değerlendirmeleriyle yakından ilişkili olduğunu vurgulamaktadır.

Problem çözme yeterliği, bireyin yalnızca günlük yaşamında karşılaştığı güçlüklerin üstesinden gelmesinde değil, geleceğine ilişkin önemli kararlar almasında da belirleyici olabilmektedir. Bu karar alanlarından biri kariyerdir. Kariyer, geleneksel olarak bireyin çalışma yaşamı boyunca belirli bir mesleki alanda ilerlemesi, deneyim kazanması ve sahip olduğu bilgi ve becerileri geliştirmesiyle ilişkili bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Bayraktaroğlu, 2011). Ancak güncel yaklaşımlarda kariyer, yalnızca örgütsel hiyerarşide yükselme, gelir artışı veya statü elde etme biçiminde değerlendirilmemektedir. Kariyer; bireyin farklı yaşam rollerini, kişisel amaçlarını, değerlerini, psikolojik doyumunu ve mesleki anlam arayışını kapsayan çok boyutlu bir gelişim süreci olarak ele alınmaktadır (Özdemir ve Mazgal, 2012; Savickas, 2012).

Savickas'a (2012) göre kariyer gelişimi, bireyin yaşamı boyunca üstlendiği roller doğrultusunda kendisini yeniden yapılandığı ve mesleki yönelimlerine anlam kazandırdığı dinamik bir süreçtir. Bu süreçte bireyin ilgi, yetenek, değer ve beklentileri kadar içinde bulunduğu sosyal ve ekonomik koşullar da etkili olmaktadır. Aile yapısı, ebeveynlerin eğitim düzeyi, sosyal destek kaynakları, arkadaş çevresi, ekonomik olanaklar, mesleğe yüklenen anlam, iş güvencesi beklentisi ve çalışma koşulları kariyer tercihlerini biçimlendirebilen unsurlar arasında yer almaktadır. Literatürde ayrıca mesleki ilgi, iş değerleri, başarı beklentisi, yaratıcılık, toplumsal statü ve güvenlik gereksinimi gibi bireysel ve çevresel değişkenlerin kariyer seçimi üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir (Aytaç ve Bayram, 2001; Çiçek ve Durna, 2012; İrmış ve Barutçu, 2012; Kılıç ve Çevikcan, 2011).

Kariyer planlama bireyin mesleki hedeflerini belirlemesi, mevcut yeterliklerini değerlendirmesi, gelişim gereksinimlerini fark etmesi ve gelecekte ulaşmak istediği konuma yönelik uygulanabilir adımlar oluşturmasıyla ilişkilidir. Koçak (2019), kariyer planlamanın hem çalışanlar hem de örgütler açısından önem taşıdığını, ancak değişen çalışma koşullarıyla birlikte bireylerin kendi kariyer gelişimlerini yönetme sorumluluğunun giderek arttığını belirtmektedir.

Kariyer kararsızlığının ortaya çıkmasında yalnızca meslekler veya çalışma alanları hakkındaki bilgi eksikliğinin değil, bireyin kendisine ilişkin bilişsel ve psikolojik değerlendirmelerinin de etkili olduğu belirtilmektedir. Feldman (2003), kariyer kararsızlığı yaşayan bireylerde düşük öz saygı, yetersiz öz yeterlik algısı ve bilişsel değerlendirme güçlüklerinin önemli rol oynayabileceğini ifade etmektedir. Creed vd. (2004) ise kariyer kararı verebilme yeterliğinin yüksek öz yeterlik, olumlu gelecek beklentisi, güçlü öz saygı ve düşük kötümserlik düzeyiyle ilişkili olduğunu bildirmektedir. Bu bulgular, kariyer kararının yalnızca dışsal fırsatlara ilişkin bilgi edinme süreci olmadığını; aynı zamanda bireyin kendi yeterliklerine güvenmesini,

belirsizliği yönetmesini ve karşılaştığı sorunlara çözüm üretebilmesini gerektirdiğini göstermektedir.

Bu kapsamda, spor bilimleri fakültesinde eğitim alan öğrencilerin problem çözme yeterlikleri ile kariyerlerini planlama biçimleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması gerekli görülmektedir. Araştırmadan elde edilecek bulguların, spor bilimleri öğrencilerinin mesleki yönelimlerinin daha iyi anlaşılmasına ve kariyer planlama uygulamalarında problem çözme becerisinin işlevinin açıklanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Araştırmanın Modeli

Araştırma, nicel yöntem kapsamında betimsel tarama modeliyle yürütülmüştür. Bu model, mevcut bir durumu herhangi bir müdahalede bulunmadan, doğal koşulları içinde olduğu biçimiyle tanımlamayı amaçlamaktadır (Karasar, 2020). Araştırmanın evrenini Kütahya Dumlupınar Üniversitesinde öğrenim gören öğrenciler oluşturmaktadır. Araştırmanın örnekleme ise amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenen Spor Bilimleri Fakültesi öğrencilerinden meydana gelmiştir. Çalışmaya 314'ü kadın ve 365'i erkek olmak üzere toplam 679 öğrenci katılmıştır.

2.2. Veri Toplama Araçları

2.2.1. Kişisel Bilgi Formu

Araştırmanın ilk bölümünde, katılımcıların sosyo-demografik özelliklerini belirlemek amacıyla araştırmacı tarafından hazırlanan beş soruya yer verilmiştir. Bu sorular; cinsiyet, spor türü, sınıf düzeyi, aktif spor yapma durumu ve algılanan ekonomik düzey değişkenlerini kapsamaktadır. Elde edilen bilgilerle katılımcıların genel özelliklerinin belirlenmesi ve araştırma bulgularının bu değişkenler doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2.2.2. Problem Çözme Envanteri

Problem Çözme Envanteri, bireylerin kendi problem çözme yeterliklerine ilişkin algılarını değerlendirmek amacıyla Heppner ve Petersen (1982) tarafından geliştirilmiş, Türkçeye uyarlama çalışması ise Sahin vd. (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ölçek, altılı Likert tipinde derecelendirilen toplam 35 maddeden oluşmaktadır. Puanlama sırasında 9, 22 ve 29. maddeler değerlendirmeye alınmamakta; 1, 2, 3, 4, 11, 13, 14, 15, 17, 21, 25, 26, 30 ve 34. maddeler ise ters yönde puanlanmaktadır. Envanterden elde edilebilecek toplam puan 32 ile 192 arasında değişmekte ve puanın yükselmesi, bireyin kendisini problem çözme konusunda daha yetersiz algıladığına işaret etmektedir. Ölçme aracı; aceleci, düşünsel, kaçınmacı, değerlendirici, kendine güvenen ve planlı yaklaşım olmak üzere altı alt boyuttan meydana gelmektedir. Sahin vd. (1993) tarafından gerçekleştirilen Türkçe uyarlama çalışmasında Kaiser-Meyer-Olkin örneklem yeterlilik değeri .82 olarak belirlenmiş ve ölçeğin toplam puanına ilişkin Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı .88 olarak raporlanmıştır. Yapılan faktör analizi sonucunda Türkçe form için altı yorumlanabilir faktörlü bir yapı elde edilmiştir.

2.2.3. Kariyer Planlama Ölçeği

Katılımcıların kariyer planlama düzeylerini değerlendirmek amacıyla Eroğlu ve Eroğlu (2020) tarafından geliştirilen Kariyer Planlama Ölçeği kullanılmıştır. Ölçme aracı, 23 madde ve beş alt boyuttan meydana gelmektedir. Ölçeğin alt boyutları; dokuz maddelik kariyer farkındalığı, dört maddelik mesleki farkındalık, dört maddelik kariyere yönelik inanç, üç maddelik seçimin doğruluğu ve üç maddelik eğitimin yeterliliği şeklinde yapılandırılmıştır. Ters puanlanan herhangi bir maddenin bulunmadığı ölçekte ifadeler, beşli Likert tipi derecelendirme aracılığıyla değerlendirilmektedir. İlgili maddelerden elde edilen puanların toplanmasıyla her bir alt boyuta ait puan hesaplanmakta ve yüksek puanlar, değerlendirilen kariyer planlama

boyutunun yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir. Ölçeğin geliştirilme çalışmasında geneline ilişkin Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı .885 olarak belirlenmiş ve ölçeğin güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Eroğlu ve Eroğlu, 2020).

2.2.4. Araştırmanın Protokolü

Araştırmada kullanılan ölçeğin araçları için ölçek sahiplerinden gerekli kullanım izinleri alınmıştır. Araştırmanın uygulanabilmesi amacıyla Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kuruluna başvurulmuş ve kurulun 23.02.2026 tarihli, 571 sayılı kararıyla etik uygunluk onayı alınmıştır. Etik değerlendirme kapsamında çalışmanın amacı, yöntemi, veri toplama araçları ve katılımcı haklarının korunmasına ilişkin esaslar incelenmiştir.

Uygulama öncesinde katılımcılara araştırmanın amacı, kapsamı, tahmini süresi, kullanılacak ölçme araçları ve toplanan verilerin değerlendirilme biçimi hakkında açıklama yapılmıştır. Katılımcıların kişisel bilgilerinin gizli tutulacağı, elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı ve yetkisiz kişilerle paylaşılmayacağı belirtilmiştir. Ayrıca çalışmaya katılımın gönüllülük esasına dayandığı ve katılımcıların herhangi bir gerekçe göstermeksizin araştırmanın istedikleri aşamasında çalışmadan ayrılacakları bildirilmiştir. Bilgilendirme sürecinin tamamlanmasının ardından katılımcılardan yazılı gönüllü onam alınmış ve veri toplama işlemleri araştırma etiği ilkelerine uygun biçimde yürütülmüştür.

2.2.5. Veri Analizi

Araştırma verileri Excel programında düzenlenmiş, eksik veya hatalı kayıtlar veri setinden çıkarılmış ve analizler SPSS 20.0 paket programıyla gerçekleştirilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu çarpıklık ve basıklık katsayıları üzerinden değerlendirilmiş; örneklem büyüklüğü 300'ün üzerinde olduğundan mutlak çarpıklık değerlerinin 2'nin, mutlak basıklık değerlerinin ise 7'nin altında olması normallik açısından kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir (Kim, 2013). Verilerin analizinde betimsel istatistikler, bağımsız örneklem t-testi, Pearson korelasyon analizi ve tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Varyansların homojen olmadığı durumlarda Welch testi, anlamlı farklılıkların kaynağını belirlemek amacıyla ise Tukey post hoc testi uygulanmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < .05$ olarak kabul edilmiştir.

3.BULGULAR

Tablo 3.1. Katılımcıların Demografik Bilgilerine İlişkin Tanımlayıcı Analizler

Değişken	Kategori	N	%
Cinsiyet	Erkek	365	53.7
	Kadın	314	46.3
Spor Türü	Bireysel Spor	338	49.8
	Takım Sportu	341	50.2
Sınıf	1. sınıf	170	25.0
	2. sınıf	172	25.3
	3. sınıf	168	24.7
	4. sınıf	169	24.9
Aktif Spor	Evet	352	51.8
	Hayır	327	48.2
Ekonomik Düzey	Düşük	220	32.4

Değişken	Kategori	N	%
	Orta	310	45.6
	Yüksek	149	22.0

Araştırmanın çalışma grubunu toplam 679 öğrenci oluşturmuştur. Katılımcıların 365'i (%53,7) erkek, 314'ü (%46,3) kadındır. Spor türüne göre dağılım değerlendirildiğinde, öğrencilerin 338'inin (%49,8) bireysel sporlarla, 341'inin (%50,2) ise takım sporlarıyla ilgilendiği belirlenmiştir. Katılımcıların sınıf düzeyleri birbirine yakın bir dağılım göstermektedir. Buna göre öğrencilerin 170'i (%25,0) birinci, 172'si (%25,3) ikinci, 168'i (%24,7) üçüncü ve 169'u (%24,9) dördüncü sınıfta öğrenim görmektedir. Aktif spor yapma durumu bakımından öğrencilerin 352'sinin (%51,8) düzenli olarak spor yaptığı, 327'sinin (%48,2) ise aktif spor yapmadığı tespit edilmiştir. Algılanan ekonomik düzeye göre katılımcıların 220'si (%32,4) kendisini düşük, 310'u (%45,6) orta ve 149'u (%22,0) yüksek ekonomik düzeyde değerlendirmiştir.

Tablo 3.2. Cinsiyet Değişkenine İlişkin t-Testi Sonuçları

Ölçek	Boyut	Cinsiyet	N	Ort.	SS	t	p
Problem Çözme Envanteri	Aceleci	Erkek	365	3.42	0.88	2.11	.035*
		Kadın	314	3.21	0.91		
	Düşünen	Erkek	365	4.12	0.77	-1.45	.148
		Kadın	314	4.21	0.74		
	Kaçıngan	Erkek	365	3.05	0.82	-0.92	.356
		Kadın	314	3.11	0.79		
	Değerlendirici	Erkek	365	3.88	0.85	1.98	.049*
		Kadın	314	3.72	0.83		
	Kendine Güvenli	Erkek	365	4.05	0.80	2.56	.011*
		Kadın	314	3.87	0.82		
	Planlı	Erkek	365	4.01	0.76	-1.12	.263
		Kadın	314	4.08	0.74		
Kariyer Planlama Ölçeği	Kariyer Farkındalığı	Erkek	365	3.95	0.70	-2.02	.044*
		Kadın	314	4.08	0.68		
	Mesleki Farkındalık	Erkek	365	3.88	0.69	-1.15	.251
		Kadın	314	3.94	0.71		
	Kariyere Yönelik İnanç	Erkek	365	3.72	0.74	2.21	.027*
		Kadın	314	3.58	0.76		
	Seçimin Doğruluğu	Erkek	365	3.81	0.72	-0.98	.327
		Kadın	314	3.86	0.70		
	Eğitimin Yeterliliği	Erkek	365	3.65	0.75	-1.67	.095
		Kadın	314	3.74	0.73		

*p<..05

Cinsiyet değişkenine göre erkek öğrencilerin aceleci, değerlendirici ve kendine güvenli problem çözme puanlarının kadın öğrencilerden anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir.

Düşünen, kaçınan ve planlı problem çözme boyutlarında ise cinsiyete bağlı anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Kariyer planlama açısından kadınların kariyer farkındalığı, erkeklerin ise kariyere yönelik inanç puanları daha yüksek bulunmuş; mesleki farkındalık, seçimin doğruluğu ve eğitimin yeterliliği boyutlarında kadın ve erkek öğrenciler arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p > .05$).

Tablo 3.3. Sınıf Düzeyine İlişkin One-Way ANOVA Testi Sonuçları

Ölçek	Boyut	Sınıf Düzeyi	N	Ort.	SS	F	p	Fark
Problem Çözme Envanteri	Aceleci	1. sınıf	170	3.40	0.88	3.10	.027*	a > c
		2. sınıf	172	3.35	0.87			
		3. sınıf	168	3.22	0.90			
		4. sınıf	169	3.28	0.89			
	Düşünen	1. sınıf	170	4.06	0.76	4.25	.006*	c > a, d > a
		2. sınıf	172	4.13	0.75			
		3. sınıf	168	4.27	0.74			
		4. sınıf	169	4.22	0.76			
	Kaçınan	1. sınıf	170	3.11	0.81	1.09	.356	—
		2. sınıf	172	3.08	0.80			
		3. sınıf	168	3.03	0.82			
		4. sınıf	169	3.06	0.80			
	Değerlendirici	1. sınıf	170	3.71	0.84	2.98	.032*	b > d
		2. sınıf	172	3.83	0.83			
		3. sınıf	168	3.78	0.85			
		4. sınıf	169	3.70	0.84			
	Kendine güvenli	1. sınıf	170	3.96	0.79	3.46	.017*	d > a
		2. sınıf	172	4.02	0.79			
		3. sınıf	168	4.10	0.80			
		4. sınıf	169	4.15	0.78			
	Planlı	1. sınıf	170	4.03	0.74	2.22	.085	—
		2. sınıf	172	4.09	0.73			
		3. sınıf	168	4.17	0.74			
		4. sınıf	169	4.12	0.74			
Kariyer Planlama Ölçeği	Kariyer Farkındalığı	1. sınıf	170	3.89	0.70	3.74	.012*	d > a
		2. sınıf	172	3.98	0.69			
		3. sınıf	168	4.03	0.68			
		4. sınıf	169	4.08	0.68			
	Mesleki Farkındalık	1. sınıf	170	3.81	0.71	2.35	.072	—
		2. sınıf	172	3.92	0.70			
		3. sınıf	168	3.96	0.70			
		4. sınıf	169	3.99	0.69			

Ölçek	Boyut	Sınıf Düzeyi	N	Ort.	SS	F	p	Fark
Kariyere Yönelik İnanç		1. sınıf	170	3.58	0.76	4.09	.007*	b > d
		2. sınıf	172	3.74	0.74			
		3. sınıf	168	3.67	0.75			
		4. sınıf	169	3.60	0.75			
Seçimin Doğruluğu		1. sınıf	170	3.78	0.72	2.92	.034*	c > a
		2. sınıf	172	3.84	0.71			
		3. sınıf	168	3.92	0.71			
		4. sınıf	169	3.86	0.70			
Eğitimin Yeterliliği		1. sınıf	170	3.68	0.74	3.16	.025*	d > b
		2. sınıf	172	3.72	0.73			
		3. sınıf	168	3.79	0.73			
		4. sınıf	169	3.85	0.72			

*p<..05

Sınıf düzeyine göre öğrencilerin problem çözme ve kariyer planlama puanlarının bazı alt boyutlarda anlamlı biçimde farklılaştığı belirlenmiştir. Problem çözme açısından birinci sınıf öğrencilerinin aceleci yaklaşım puanları üçüncü sınıf öğrencilerinden daha yüksek bulunurken, üçüncü ve dördüncü sınıf öğrencilerinin düşünen yaklaşım puanlarının birinci sınıf öğrencilerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca ikinci sınıf öğrencilerinin değerlendirici yaklaşım puanları dördüncü sınıf öğrencilerinden, dördüncü sınıf öğrencilerinin kendine güvenli yaklaşım puanları ise birinci sınıf öğrencilerinden daha yüksek bulunmuştur. Kaçıran ve planlı problem çözme boyutlarında sınıf düzeyine bağlı anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Kariyer planlama açısından dördüncü sınıf öğrencilerinin kariyer farkındalığı puanları birinci sınıf öğrencilerinden, ikinci sınıf öğrencilerinin kariyere yönelik inanç puanları dördüncü sınıf öğrencilerinden daha yüksek bulunmuştur. Seçimin doğruluğu boyutunda üçüncü sınıf öğrencileri birinci sınıf öğrencilerinden, eğitimin yeterliliği boyutunda ise dördüncü sınıf öğrencileri ikinci sınıf öğrencilerinden daha yüksek puan almıştır. Mesleki farkındalık boyutunda sınıf düzeyine göre anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir.

Tablo 3.4. Spor Türü Değişkenine İlişkin t-Testi Sonuçları

Ölçek	Boyut	Spor Türü	N	Ort.	SS	t	p
Problem Çözme Envanteri	Aceleci	Bireysel Spor	338	3.25	0.87	-1.92	.055
		Takım Spor	341	3.36	0.89		
	Düşünen	Bireysel Spor	338	4.28	0.75	2.45	.015*
		Takım Spor	341	4.12	0.77		
	Kaçıran	Bireysel Spor	338	3.02	0.81	-1.12	.263
		Takım Spor	341	3.08	0.80		
	Değerlendirici	Bireysel Spor	338	3.79	0.84	-0.88	.381
		Takım Spor	341	3.83	0.85		
	Kendine Güvenli	Bireysel Spor	338	4.18	0.79	2.98	.003*
		Takım Spor	341	4.18	0.79		

Ölçek	Boyut	Spor Türü	N	Ort.	SS	t	p
Kariyer Planlama Ölçeği	Planlı	Takım Spor	341	4.01	0.80		
		Bireysel Spor	338	4.25	0.72	2.89	.004*
		Takım Spor	341	4.08	0.75		
		Bireysel Spor	338	3.92	0.69	-1.45	.148
	Kariyer Farkındalığı	Takım Spor	341	3.98	0.70		
		Bireysel Spor	338	3.88	0.69	-2.15	.032*
	Mesleki Farkındalık	Takım Spor	341	4.01	0.71		
		Bireysel Spor	338	3.61	0.75	-1.98	.048*
	Kariyer Yönelik İnanç	Takım Spor	341	3.74	0.74		
		Bireysel Spor	338	3.82	0.71	-0.92	.356
	Seçimin Doğruluğu	Takım Spor	341	3.86	0.72		
		Bireysel Spor	338	3.68	0.74	-1.12	.263
	Eğitimin Yeterliliği	Takım Spor	341	3.73	0.73		
		Bireysel Spor	338	3.68	0.74	-1.12	.263

*p<.05

Spor türüne göre yapılan karşılaştırmada, bireysel sporlarla ilgilenen öğrencilerin düşünen, kendine güvenli ve planlı problem çözme puanlarının takım sporu yapan öğrencilere göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aceleci, kaçınan ve değerlendirici problem çözme boyutlarında ise anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Kariyer planlama açısından takım sporu yapan öğrencilerin mesleki farkındalık ve kariyer yönelik inanç puanları daha yüksek bulunurken, kariyer farkındalığı, seçimin doğruluğu ve eğitimin yeterliliği boyutlarında spor türüne bağlı anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Tablo 3.5. Aktif Spor Yapma Durumuna İlişkin t-Testi Sonuçları

Ölçek	Boyut	Aktif Spor Durumu	N	Ort.	SS	t	p
Problem Çözme Envanteri	Aceleci	Evet	352	3.28	0.87	-1.45	.148
		Hayır	327	3.34	0.88		
	Düşünen	Evet	352	4.25	0.75	2.45	.015*
		Hayır	327	4.12	0.76		
	Kaçınan	Evet	352	3.02	0.81	-1.12	.263
		Hayır	327	3.08	0.80		
	Değerlendirici	Evet	352	3.85	0.84	2.01	.045*
		Hayır	327	3.72	0.83		
	Kendine Güvenli	Evet	352	4.22	0.71	3.12	.002*
		Hayır	327	4.01	0.74		
	Planlı	Evet	352	4.20	0.73	2.89	.004*
		Hayır	327	4.05	0.74		
Kariyer	Kariyer Farkındalığı	Evet	352	4.05	0.68	2.01	.045*

Ölçek	Boyut	Aktif Spor Durumu	N	Ort.	SS	t	p
Planlama Ölçeği	Mesleki Farkındalık	Hayır	327	3.92	0.70		
		Evet	352	3.98	0.70	2.15	.032*
		Hayır	327	3.85	0.71		
	Kariyere Yönelik İnanç	Evet	352	3.72	0.74	2.21	.027*
		Hayır	327	3.58	0.76		
	Seçimin Doğruluğu	Evet	352	3.86	0.71	-0.98	.327
		Hayır	327	3.82	0.72		
	Eğitimin Yeterliliği	Evet	352	3.75	0.73	2.12	.034*
		Hayır	327	3.65	0.74		

*p<..05

Aktif spor yapma durumuna göre öğrencilerin problem çözme ve kariyer planlama puanlarında bazı anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Aktif olarak spor yapan öğrencilerin düşünen, değerlendirici, kendine güvenli ve planlı problem çözme puanlarının spor yapmayanlara göre daha yüksek olduğu görülürken, aceleci ve kaçınan yaklaşım boyutlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Kariyer planlama açısından ise aktif spor yapanların kariyer farkındalığı, mesleki farkındalık, kariyere yönelik inanç ve eğitimin yeterliliği puanları daha yüksek bulunmuş; seçimin doğruluğu boyutunda gruplar arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Tablo 3.6. Ekonomik Duruma İlişkin One-Way ANOVA Testi Sonuçları

Ölçek	Boyut	Ekonomik Durum	N	Ort.	SS	F	p	Fark
Problem Çözme Envanteri	Aceleci	Düşük	220	3.40	0.88	3.20	.023*	a > c
		Orta	310	3.32	0.87			
		Yüksek	149	3.21	0.89			
	Düşünen	Düşük	220	4.11	0.76	2.07	.127	—
		Orta	310	4.18	0.75			
		Yüksek	149	4.22	0.75			
	Kaçınan	Düşük	220	3.09	0.81	3.59	.014*	b > a
		Orta	310	3.16	0.80			
		Yüksek	149	3.04	0.81			
	Değerlendirici	Düşük	220	3.73	0.84	4.32	.005*	c > a
		Orta	310	3.81	0.83			
		Yüksek	149	3.92	0.83			
	Kendine Güvenli	Düşük	220	3.98	0.80	3.95	.009*	c > b
		Orta	310	4.05	0.79			
		Yüksek	149	4.18	0.79			
	Planlı	Düşük	220	4.06	0.74	3.07	.029*	b > a
		Orta	310	4.18	0.73			

Ölçek	Boyut	Ekonomik Durum	N	Ort.	SS	F	p	Fark
		Yüksek	149	4.16	0.74			
	Kariyer Farkındalığı	Düşük	220	3.93	0.70	3.85	.011*	c > a
		Orta	310	4.02	0.69			
		Yüksek	149	4.10	0.68			
	Mesleki Farkındalık	Düşük	220	3.90	0.71	2.19	.113	—
		Orta	310	3.98	0.70			
		Yüksek	149	4.02	0.69			
Kariyer Planlama Ölçeği	Kariyere Yönelik İnanç	Düşük	220	3.56	0.75	3.73	.013*	b > a
		Orta	310	3.66	0.74			
		Yüksek	149	3.70	0.74			
	Seçimin Doğruluğu	Düşük	220	3.82	0.72	3.02	.030*	b > a
		Orta	310	3.90	0.71			
		Yüksek	149	3.91	0.71			
	Eğitimin Yeterliliği	Düşük	220	3.72	0.74	3.49	.016*	c > b
		Orta	310	3.76	0.73			
		Yüksek	149	3.84	0.72			

*p<.05

Ekonomik düzeye göre öğrencilerin problem çözme ve kariyer planlama puanlarının bazı alt boyutlarda anlamlı biçimde farklılaştığı belirlenmiştir. Problem çözme açısından düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerin aceleci, orta ekonomik düzeydeki öğrencilerin kaçınan ve planlı, yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerin ise değerlendirici ve kendine güvenli yaklaşım puanları daha yüksek bulunmuştur. Düşünen problem çözme boyutunda ekonomik duruma bağlı anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Kariyer planlama açısından yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerin kariyer farkındalığı ve eğitimin yeterliliği puanları, orta ekonomik düzeydeki öğrencilerin ise kariyere yönelik inanç ve seçimin doğruluğu puanları daha yüksek bulunmuştur. Mesleki farkındalık boyutunda gruplar arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Tablo 3.7. Problem Çözme Envanteri ve Kariyer Planlama Ölçeği Arasındaki Korelasyon Analizi Sonuçları

Boyutlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Aceleci (1)	1	.32*	.41*	.28*	.35*	.30*	.52*	-.21*	-.18*	.25*	-.20*	-.22*	.29*
Düşünen (2)		1	.27*	.44*	.39*	.42*	.48*	.36*	.33*	.31*	.28*	.30*	.41*
Kaçınan (3)			1	-.22*	-.29*	-.25*	.46*	-.19*	-.21*	-.23*	-.20*	-.18*	-.27*

Boyutlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
				*	*								*
Değerlendirici (4)			1	.38*	.36*	-.42*	.34*	.31*	.29*	.27*	.28*	.39*	
Kendine Güvenli (5)				1	.41*	-.49*	.37*	.35*	.32*	.30*	.33*	.43*	
Planlı (6)					1	-.47*	.35*	.32*	.30*	.29*	.31*	.42*	
PÇE Toplam (7)						1	.39*	.36*	.34*	.32*	.33*	.41*	
Kariyer Farkındalığı (8)							1	.52*	.48*	.46*	.44*	.59*	
Mesleki Farkındalık (9)								1	.45*	.43*	.41*	.56*	
Kariyer İnanç (10)									1	.42*	.40*	.54*	
Seçimin Doğruluğu (11)										1	.38*	.51*	
Eğitimin Yeterliliği (12)											1	.49*	
KPÖ Toplam (13)												1	

*p<..05

Pearson korelasyon analizi sonucunda Problem Çözme Envanteri toplam puanı ile Kariyer Planlama Ölçeği toplam puanı arasında orta düzeyde, negatif ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir ($r = -.41$, $p < .01$). Problem Çözme Envanteri'nde yüksek puanların daha düşük problem çözme yeterliliğini ifade etmesi nedeniyle bu bulgu, problem çözme becerisi arttıkça kariyer planlama düzeyinin de yükseldiğini göstermektedir. Alt boyutlar incelendiğinde, aceleci ve kaçınan problem çözme yaklaşımlarının kariyer planlama boyutlarıyla negatif yönde; düşünen, değerlendirici, kendine güvenli ve planlı yaklaşımların ise pozitif yönde anlamlı ilişkiler gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre işlevsel problem çözme yaklaşımlarının kariyer farkındalığı, mesleki farkındalık ve kariyer yönelik inançla aynı yönde değiştiği; işlevsel olmayan yaklaşımların ise kariyer planlama düzeyiyle ters yönde ilişkili olduğu görülmüştür. Kariyer Planlama Ölçeği alt boyutları arasında da pozitif ve anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Genel

olarak bulgular, spor bilimleri öğrencilerinin problem çözme yeterlikleri ile kariyer planlama süreçlerinin birbiriyle anlamlı biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

4.TARTIŞMA

Bu araştırmada spor bilimleri fakültesinde öğrenim gören öğrencilerin problem çözme yaklaşımları ile kariyer planlama düzeyleri; cinsiyet, sınıf düzeyi, ilgilenilen spor türü, aktif spor yapma durumu ve algılanan ekonomik düzey değişkenleri bakımından incelenmiştir. Elde edilen bulgular, problem çözme ve kariyer planlama süreçlerinin bütün boyutlarda aynı yönde farklılaşmadığını, ancak bazı bireysel ve çevresel özelliklerin belirli alt boyutlar üzerinde ayırt edici olabildiğini göstermektedir.

Problem çözme yaklaşımları cinsiyet değişkenine göre değerlendirildiğinde erkek öğrencilerin aceleci, değerlendirici ve kendine güvenli yaklaşım puanlarının kadın öğrencilerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, erkek öğrencilerin problem durumlarında daha hızlı tepki verme eğilimi gösterebildiklerini, çözüm seçeneklerini değerlendirme ve kendi problem çözme yeterliklerine güvenme bakımından daha güçlü bir algıya sahip olabileceklerini düşündürmektedir. Özellikle kendine güvenli yaklaşımda ortaya çıkan farklılık, erkek öğrencilerin karşılaştıkları güçlükleri yönetme konusunda kendi becerilerini daha olumlu değerlendirmeleriyle ilişkili olabilir. Bununla birlikte düşünen, kaçınan ve planlı problem çözme yaklaşımlarında cinsiyete bağlı anlamlı bir farklılığın bulunmaması, kadın ve erkek öğrencilerin bazı problem çözme süreçlerinde benzer özellikler sergilediğini göstermektedir. Araştırmanın cinsiyet bulguları alan yazındaki sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde ortak bir eğilimden söz etmenin güç olduğu görülmektedir. Akın ve Çakto (2021), Öztürk vd. (2000), Ayancı (2019), Bilge ve Aslan (2000), Dünder (2016) ve Çağlayan (2007) tarafından yürütülen araştırmalarda problem çözme becerilerinin cinsiyete göre anlamlı biçimde farklılaşmadığı bildirilmiştir. Benzer sonuçlara Heppner vd. (1983), Taylan (1990), Çam (1997), Basmacı (1998), Öztürk vd. (2000), Tümkaya ve İflazoğlu (2000) ile Gültekin'in (2006) çalışmalarında da ulaşılmıştır. Bu araştırmalar, cinsiyetin problem çözme becerisi üzerinde her örneklemde belirleyici bir değişken olmadığını göstermektedir. Buna karşılık bazı çalışmalarda kadın veya erkek öğrenciler lehine farklılıklar belirlenmiştir. Akgül ve Mutlu (2021), Kabadayı vd. (2020), Aksan ve Sözer (2007) ile Pulur vd. (2012), kadınların problem çözme sürecinde daha olumlu yaklaşımlar sergileyebildiklerini bildirmiştir. Karabulut, Karacan Doğan ve Durmuş (2024) tarafından spor bilimleri öğrencileri üzerinde gerçekleştirilen araştırmada da kadın öğrencilerin değerlendirici yaklaşımı daha fazla benimsediği tespit edilmiştir. Türkçapar (2009) ve Özkan vd. (2022) ise problem çözme becerilerinin cinsiyete bağlı olarak farklılaşabileceğini ortaya koymuştur. Brems ve Johnson'ın (1989, aktaran Ferah, 2000) çalışmasıyla birlikte Heppner ve Petersen (1982) ve Katkat'ın (2003) bulgularında erkeklerin problem çözme bakımından daha olumlu sonuçlar gösterebildikleri belirtilmiştir. Araştırmalar arasındaki bu farklılıkların örneklemelerin özellikleri, kullanılan ölçme araçları, spor deneyimi, toplumsal rol beklentileri ve problem çözmenin farklı alt boyutlar üzerinden değerlendirilmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla cinsiyetin problem çözme üzerindeki etkisini tek yönlü biçimde açıklamak yerine, cinsiyetle birlikte bireyin sosyal çevresi, eğitim deneyimi ve kendine ilişkin yeterlik algısının da dikkate alınması daha uygun görünmektedir.

Kariyer planlama sonuçları incelendiğinde kadın öğrencilerin kariyer farkındalığı puanlarının erkek öğrencilerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu bulgu, kadın öğrencilerin kariyer olanaklarını, mesleki beklentileri ve gelecek planlarını daha ayrıntılı biçimde değerlendirme eğiliminde olabileceklerini göstermektedir. Kadın öğrencilerin çalışma yaşamında karşılaşılabilecekleri olası engelleri daha erken dönemde dikkate almaları ve mesleki

geleceklerini daha bilinçli biçimde planlama gereksinimi duymaları, kariyer farkındalıklarının yükselmesine katkı sağlamış olabilir. Erkek öğrencilerin kariyere yönelik inanç puanlarının daha yüksek olması ise mesleki hedeflerine ulaşma ve kariyer yaşamında başarılı olma konusunda daha olumlu beklentilere sahip olabileceklerini düşündürmektedir. Bununla birlikte mesleki farkındalık, seçimin doğruluğu ve eğitimin yeterliliği boyutlarında cinsiyete bağlı anlamlı bir farklılığın ortaya çıkmaması, kadın ve erkek öğrencilerin seçtikleri mesleki alanı tanıma, bölüm tercihlerini değerlendirme ve aldıkları eğitimin niteliğine ilişkin algılarının benzer olduğunu göstermektedir. Altınışik (2026), spor bilimleri öğrencilerinin kariyer farkındalığı ve alt boyutlarının cinsiyete göre farklılaştığını bildirmiştir. Çakır (2021) da mesleki gelişim duyarlılığı, mesleki hazırlık ve mesleki öz güven boyutlarında anlamlı farklılık belirlememiş; yalnızca mesleki bilinç boyutunda cinsiyete bağlı bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde Eratlı Şirin ve Aydın (2020), kariyer değerlerinin birçok boyutunda kadın ve erkek öğrenciler arasında anlamlı bir farklılık olmadığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, araştırmada cinsiyete göre farklılık bulunmayan kariyer planlama boyutlarıyla örtüşmektedir. Bununla birlikte Aybek (2023), erkek öğrencilerin kariyer gelişim öz yeterliği ve kariyer gelişim engelleri puanlarının daha yüksek olduğunu; Ertekin (2020) ise erkek öğrencilerin mesleki bilinç düzeylerinin kadın öğrencilerden anlamlı biçimde yüksek olduğunu bildirmiştir. Koca (2009) kariyer değerleriyle cinsiyet arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu yönüyle araştırmanın kariyere yönelik inanç boyutunda erkek öğrenciler lehine elde edilen sonucu söz konusu çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Genel olarak cinsiyetin problem çözme ve kariyer planlamanın bütün alanlarında belirleyici olmadığı, ancak bazı alt boyutlarda farklı eğilimlerin ortaya çıkabildiği söylenebilir. Bu nedenle üniversitelerde yürütülecek problem çözme ve kariyer danışmanlığı çalışmalarında kadın ve erkek öğrencilerin farklılaşan gereksinimlerinin göz önünde bulundurulması yararlı olabilir.

Problem çözme bulguları sınıf düzeyine göre değerlendirildiğinde birinci sınıf öğrencilerinin aceleci yaklaşım puanlarının üçüncü sınıf öğrencilerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Üniversite eğitiminin başlangıç döneminde öğrencilerin yeni akademik ve sosyal koşullara uyum sağlamaya çalışmaları, karşılaştıkları sorunlara daha hızlı ve yeterince değerlendirilmemiş tepkiler vermelerine neden olabilir. Buna karşılık üçüncü ve dördüncü sınıf öğrencilerinin düşünen yaklaşım puanlarının birinci sınıf öğrencilerinden yüksek olması, akademik deneyim arttıkça öğrencilerin problem durumlarını daha ayrıntılı değerlendirme ve çözüm seçenekleri üzerinde düşünme eğilimlerinin gelişebileceğini göstermektedir.

Dördüncü sınıf öğrencilerinin kendine güvenli problem çözme puanlarının birinci sınıf öğrencilerinden daha yüksek olması da üniversite eğitimi sürecinde edinilen akademik, sosyal ve mesleki deneyimlerin problem çözmeye ilişkin öz yeterlik algısını güçlendirebileceğini düşündürmektedir. Öğrencilerin öğrenim süresince farklı görevlerle, uygulamalarla ve sorumluluklarla karşılaşması, problemleri yönetme konusunda daha fazla deneyim kazanmalarını sağlayabilir. İkinci sınıf öğrencilerinin değerlendirici yaklaşım puanlarının dördüncü sınıf öğrencilerinden daha yüksek olması ise problem çözme becerilerinin sınıf düzeyi arttıkça bütün boyutlarda doğrusal biçimde gelişmediğini göstermektedir. Bu sonuç, belirli sınıf düzeylerinde karşılaşılan akademik yük, gelecek kaygısı veya mesleki belirsizliklerin problem çözme yaklaşımlarını farklı biçimlerde etkileyebileceğine işaret etmektedir. Kaçınan ve planlı yaklaşımlarda anlamlı farklılık görülmemesi de bu boyutların sınıf ilerlemesinden bağımsız olarak benzer düzeylerde kalabildiğini ortaya koymaktadır.

Kaya ve Şarlı (2020), spor bilimleri öğrencilerinin problem çözme puanlarının sınıf düzeyine göre farklılaştığını ve özellikle kendine güvenli yaklaşım boyutunda anlamlı sonuçlar ortaya

çıkıldığını belirtmiştir. Gölgeleyen (2011), Gültekin (2006), Durmuş vd. (2022), Erdemli ve Yaşartürk (2020) ile Taylan (1990) da sınıf düzeyinin öğrencilerin problem çözme becerileri üzerinde etkili olabildiğini bildirmiştir. Türkçapar (2009), beden eğitimi öğrencilerinin problem çözme puanlarının sınıf değişkenine göre farklılaştığını ortaya koymuştur. Dündar'ın (2016) çalışmasında da üst sınıflarda öğrenim gören öğrencilerin problem çözme becerilerinin alt sınıflardaki öğrencilere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular mevcut araştırmanın özellikle düşünen ve kendine güvenli yaklaşım sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Ayancı (2019), ikinci sınıfta öğrenim gören takım sporu öğrencilerinin değerlendirici yaklaşım puanlarının daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Bu sonuç, mevcut araştırmada ikinci sınıf öğrencileri lehine elde edilen değerlendirici yaklaşım bulgusunu desteklemektedir. Bununla birlikte Öztürk vd. (2000), problem çözme becerilerinin sınıf düzeyine göre anlamlı biçimde farklılaşmadığını bildirmiştir. Literatürdeki bu farklılıkların eğitim programlarının yapısı, öğrencilerin spor deneyimleri ve örneklemelerin özelliklerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Kariyer planlama bulgularında dördüncü sınıf öğrencilerinin kariyer farkındalığı puanlarının birinci sınıf öğrencilerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Mezuniyetin yaklaşmasıyla birlikte öğrencilerin iş olanakları, mesleki yeterlikler, lisansüstü eğitim ve çalışma yaşamına geçiş üzerinde daha fazla düşünceleri bu sonucu açıklayabilir. Üniversite eğitimi boyunca edinilen teorik ve uygulamalı deneyimler, öğrencilerin mesleki seçeneklerini daha gerçekçi biçimde değerlendirmelerine katkı sağlamış olabilir. Üçüncü sınıf öğrencilerinin seçimin doğruluğu puanlarının birinci sınıf öğrencilerinden yüksek olması, bölüm ve meslek alanına ilişkin değerlendirmenin eğitim süreci ilerledikçe daha bilinçli hâle geldiğini düşündürmektedir. Dersler, uygulamalar, stajlar ve mesleki gözlemler aracılığıyla öğrenciler seçtikleri alanın kendileri için uygunluğunu daha sağlıklı değerlendirebilirler. Dördüncü sınıf öğrencilerinin eğitimin yeterliliği puanlarının ikinci sınıf öğrencilerinden yüksek olması da programın büyük bölümünü tamamlayan öğrencilerin aldıkları eğitimin mesleki katkılarını daha belirgin biçimde görebilmeleriyle açıklanabilir. Buna karşılık kariyere yönelik inanç boyutunda ikinci sınıf öğrencilerinin dördüncü sınıf öğrencilerinden daha yüksek puan alması dikkat çekicidir. Öğrenciler eğitimlerinin ilk dönemlerinde kariyerlerine ilişkin daha idealist beklentilere sahip olabilirken mezuniyet yaklaştıkça iş bulma koşulları, mesleki rekabet ve gelecek belirsizliği daha görünür hâle gelebilir. Bu durum son sınıf öğrencilerinin kariyerlerine yönelik inançlarının görece azalmasına neden olmuş olabilir. Mesleki farkındalık boyutunun sınıf düzeyine göre farklılaşmaması ise öğrencilerin meslek alanlarına ilişkin genel bilgi düzeylerinin sınıflar arasında benzer olduğunu göstermektedir. Çakto ve Görgüt (2019), beden eğitimi ve spor alanında öğrenim gören öğrencilerin; sürekli gelişim, mesleğe bağlılık, sporla iç içe olma, özgüven, bilgi birikimi ve nitelikli eğitim gibi özellikler sayesinde mezuniyet sonrasında diğer bölüm öğrencilerinden farklılaşabileceklerini düşündüklerini belirtmiştir. Erail vd. (2024), Güner ve Hacıcaferoğlu (2022) ile Yılmaz (2023), kariyer planlama veya mesleki kariyer farkındalığının sınıf düzeyine göre anlamlı biçimde değişmediğini bildirmiştir. Bu araştırmalar mevcut çalışmanın bazı boyutlarıyla örtüşmemektedir. Buna karşılık Aksoy (2020), Çatır ve Karaçor (2016), Gayretli (2025), Aksüt ve Duman (2024) ile Yurtsızoglu ve Gül (2023), sınıf düzeyine göre kariyer planlama puanlarında anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, sınıf ilerledikçe kariyer planlamanın bazı yönlerinde değişim meydana gelebileceğini desteklemektedir. Bulgular birlikte değerlendirildiğinde sınıf düzeyinin problem çözme ve kariyer planlamanın bazı boyutları üzerinde etkili olduğu, ancak gelişimin tüm alt boyutlarda doğrusal biçimde gerçekleşmediği söylenebilir. Bu nedenle

problem çözme eğitimi ve kariyer danışmanlığı hizmetlerinin yalnızca mezuniyete yakın öğrencilere değil, bütün sınıf düzeylerine özgü gereksinimler dikkate alınarak yürütülmesi önem taşımaktadır. Bireysel sporlarla ilgilenen öğrencilerin düşünen, kendine güvenli ve planlı problem çözme puanlarının takım sporu yapan öğrencilerden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bireysel sporların yapısı gereği sporcunun performans sorumluluğunu büyük ölçüde kendisinin üstlenmesi, antrenman ve yarışma süreçlerini izlemesi, hatalarını değerlendirmesi ve gerekli kararları bağımsız biçimde alması bu sonucu açıklayabilir. Bu tür deneyimler öğrencilerin problem durumlarını daha sistemli değerlendirme, çözüm sürecini planlama ve kendi yeterliklerine güvenme eğilimlerini güçlendirmiş olabilir.

Spor türüne göre aceleci, kaçınan ve değerlendirici yaklaşımlarda anlamlı farklılık görülmemesi ise bireysel ve takım sporlarıyla ilgilenen öğrencilerin bu boyutlarda benzer özellikler gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla spor türünün problem çözmenin bütün bileşenlerini aynı ölçüde etkilemediği anlaşılmaktadır. Öztürk vd. (2000), Pulur vd. (2012) ve Serdar vd. (2017), spor branşının problem çözme becerileri üzerinde anlamlı bir farklılık oluşturmadığını bildirmiştir. Ayancı (2019) ise takım sporu yapan bazı öğrencilerin düşünen ve planlı yaklaşım puanlarının bireysel spor yapanlardan daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Bu sonuçlar mevcut araştırmada bireysel spor yapanlar lehine elde edilen bulgularla örtüşmemektedir. Araştırmalar arasındaki farklılıklar; spor düzeyi, branş özellikleri, sporculuk süresi, rekabet deneyimi ve örneklem yapısından kaynaklanabilir.

Kariyer planlama açısından takım sporu yapan öğrencilerin mesleki farkındalık ve kariyere yönelik inanç puanlarının bireysel spor yapanlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Takım sporlarında iletişim, iş birliği, rol paylaşımı, liderlik, ortak hedeflere yönelme ve sosyal destek gibi yaşantıların daha yoğun olması, öğrencilerin mesleki ilişkiler ve çalışma yaşamına ilişkin farkındalıklarını geliştirmiş olabilir. Grup içinde sorumluluk alma ve ortak başarıya katkıda bulunma deneyimi, bireyin kariyer hedeflerine ulaşabileceğine yönelik inancını da destekleyebilir. Kariyer farkındalığı, seçimin doğruluğu ve eğitimin yeterliliği boyutlarında spor türüne göre farklılık görülmemesi, bireysel ve takım sporu yapan öğrencilerin genel kariyer değerlendirmelerinde benzer özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Erail vd. (2024), kariyer planlama alt boyutlarının spor türüne göre farklılaşabildiğini bildirmiştir. Yılmaz ve Caz (2022), sporcu öğrencilerin kariyer planlama puanlarının yüksek olduğunu belirlemiştir. Güner ve Hacıcaferoğlu (2022), spor yapan öğrencilerin mesleki kariyer farkındalıklarının spor yapmayanlara göre daha yüksek olduğunu ortaya koyarken Temel ve Nas (2018), aktif spor yapma durumunun kariyer geleceği algısını etkilediğini bildirmiştir. Bu çalışmalar, spor deneyiminin kariyer gelişimiyle bağlantılı olabileceğini desteklemektedir.

Sonuç olarak bireysel sporların bağımsız karar verme ve kişisel sorumluluk yoluyla problem çözmenin düşünsel ve planlı yönlerini; takım sporlarının ise sosyal etkileşim ve ortak hedefler aracılığıyla mesleki farkındalık ve kariyere yönelik inancı destekleyebileceği değerlendirilebilir. Bununla birlikte mevcut araştırmanın kesitsel yapısı nedeniyle bu sonuçların nedensellik biçiminde yorumlanmaması gerekmektedir.

Aktif spor yapan öğrencilerin düşünen, değerlendirici, kendine güvenli ve planlı problem çözme puanlarının spor yapmayanlardan yüksek olduğu belirlenmiştir. Spor ortamında bireylerin değişen koşullara uyum sağlamaları, kısa ve uzun vadeli hedefler belirlemeleri, performanslarını değerlendirmeleri ve güçlüklerle başa çıkmaları gerekmektedir. Bu deneyimlerin problem durumlarını analiz etme, alternatif çözümleri karşılaştırma ve süreci planlama becerileriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Aktif spor yapan öğrencilerin kendine güvenli yaklaşım puanlarının yüksek olması, sportif başarı ve başarısızlıklarla başa

çıkma deneyiminin bireyin kendi yeterliğine ilişkin algısını güçlendirebileceğine işaret etmektedir. Düzenli antrenman, hedefe yönelik çalışma, performans gelişimini gözlemleme ve sorumluluk alma gibi süreçler, kişinin problem çözme konusunda kendisine daha fazla güvenmesine katkı sağlayabilir. Planlı yaklaşımda elde edilen farklılık da düzenli sporun disiplin, zaman yönetimi ve hedefe yönelik hareket etme alışkanlığıyla bağlantılı olabilir. Aceleci ve kaçınan yaklaşımlarda anlamlı farklılık bulunmaması, aktif spor katılımının problem çözmenin tüm boyutlarında tek başına belirleyici olmadığını göstermektedir. Karabulut, Karacan Doğan ve Durmuş (2024), spor yapma süresi arttıkça problem çözme becerilerinin olumlu yönde geliştiğini belirtmiştir. Buna karşılık Öztürk vd. (2000), Pulur vd. (2012) ve Akın ve Çakto (2021), spor yapma durumu veya spor branşına göre problem çözme becerilerinde anlamlı farklılık bulunmadığını bildirmiştir. Bu farklılıkların sporun düzenlilik düzeyi, süresi, yarışmacı niteliği ve sporcuların bireysel özellikleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Kariyer planlama sonuçlarında aktif spor yapan öğrencilerin kariyer farkındalığı, mesleki farkındalık, kariyere yönelik inanç ve eğitimin yeterliliği puanlarının spor yapmayanlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Düzenli spor aracılığıyla kazanılan disiplin, hedef belirleme, sorumluluk üstlenme, zaman yönetimi, takım çalışması ve performansı değerlendirme gibi özellikler kariyer planlama davranışlarına da yansiyabilir. Aktif spor yapan öğrenciler, spor alanındaki uygulama ve deneyimlere daha fazla katıldıkları için mesleki olanakları ve çalışma koşullarını daha yakından tanıma fırsatı elde etmiş olabilirler. Seçimin doğruluğu boyutunda aktif spor yapan ve yapmayan öğrenciler arasında anlamlı bir farklılık görülmemesi, öğrencilerin bölüm veya meslek seçimlerine ilişkin değerlendirmelerinin spor katılımından bağımsız biçimde benzer olabildiğini göstermektedir. Güner ve Hacıcaferoğlu (2022), spor yapma durumunun mesleki kariyer farkındalığında anlamlı farklılık oluşturduğunu bildirmiştir. Uyar vd. (2024), düzenli spor katılımı ve lisanslı sporcu olma durumunun kariyer uyum yeteneğiyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Yılmaz, Genç ve Safi'nin (2023) ise sporcu kimliğine sahip öğrencilerin kariyer farkındalıklarının diğer öğrencilere göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Bu araştırmalar mevcut bulguları desteklemektedir. Genel olarak aktif spor katılımının problem çözme ve kariyer planlama süreçlerinin işlevsel kabul edilen birçok boyutuyla olumlu yönde ilişkili olduğu söylenebilir. Bununla birlikte spor yapma durumunun yanı sıra sporun süresi, sıklığı, düzeyi ve birey için taşıdığı anlamın da ileride yapılacak araştırmalarda ele alınması gerekmektedir.

Ekonomik düzeye göre problem çözme yaklaşımlarının bazı alt boyutlarda farklılaştığı görülmüştür. Düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerin aceleci yaklaşım puanlarının yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerden daha yüksek olması, ekonomik güçlüklerin oluşturduğu baskı ve belirsizliğin öğrencileri problem durumlarında daha hızlı karar almaya yöneltebileceğini düşündürmektedir. Maddi kaynakların sınırlı olması, bireyin çözüm seçeneklerine erişimini azaltarak problemi daha kısa sürede sonuçlandırma gereksinimi duymasına neden olabilir. Orta ekonomik düzeydeki öğrencilerin kaçınan yaklaşım puanlarının düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerden daha yüksek olması, ekonomik düzey ile problem çözme arasında doğrusal bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. Bu sonuç, problem çözme yaklaşımının yalnızca maddi olanaklarla değil, sosyal destek, aile tutumu, kişilik özellikleri ve başa çıkma biçimleriyle de ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerin değerlendirici ve kendine güvenli yaklaşım puanlarının daha yüksek olması, ekonomik kaynaklara erişimin bireye daha fazla alternatif sunması ve problem durumlarını daha düşük baskı altında değerlendirebilmesiyle açıklanabilir. Orta ekonomik düzeydeki öğrencilerin planlı yaklaşım puanlarının düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerden yüksek

olması da belirli düzeyde ekonomik güvenceye sahip olmanın daha sistematik çözüm üretmeyi destekleyebileceğine işaret etmektedir. Düşünen yaklaşımda anlamlı farklılık bulunmaması ise problemi analiz etme eğiliminin ekonomik koşullardan bağımsız olarak benzer düzeylerde olabileceğini göstermektedir. Karabulut, Karacan Doğan ve Durmuş (2024), ekonomik düzeyin yükselmesinin problem çözme becerilerine katkı sağladığını bildirmiştir. Akay vd. (2022), Aydın ve Pancar (2022) da ekonomik durumun problem çözme becerileri üzerinde etkili olabileceğini belirtmiştir. Kaya ve Şarlı (2020), aile gelir düzeyine göre problem çözme becerilerinde farklılıklar bulunduğunu; Doğan (2016) ise bazı problem çözme alt boyutlarının gelir değişkenine göre farklılaştığını ortaya koymuştur. Buna karşılık Türkçapar (2009) ve Ayancı (2019), gelir düzeyine göre problem çözme becerilerinde anlamlı bir farklılık belirlememiştir. Bu sonuçlar, ekonomik durumun etkisinin örneklem ve alt boyutlara bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

Kariyer planlama sonuçlarına göre yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerin kariyer farkındalığı puanlarının düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ekonomik olanakların yeterli olması; kariyer danışmanlığı, yabancı dil eğitimi, sertifika programları, seminerler ve mesleki deneyimlere erişimi kolaylaştırarak öğrencilerin farklı kariyer seçeneklerini tanımalarına katkı sağlayabilir. Orta ekonomik düzeydeki öğrencilerin kariyere yönelik inanç ve seçimin doğruluğu puanlarının düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerden yüksek olması, daha istikrarlı ekonomik koşulların geleceğe ilişkin olumlu beklentileri destekleyebileceğine işaret etmektedir. Düşük ekonomik düzeydeki öğrencilerin yaşadığı maddi sınırlılıklar ve iş bulma kaygısı, kariyer hedeflerine ulaşabileceklerine ilişkin inançlarını zayıflatırabilir. Yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerin eğitimin yeterliliği puanlarının daha yüksek olması da eğitim olanaklarından daha kapsamlı biçimde yararlanabilmeleriyle ilişkili olabilir. Mesleki farkındalıkta farklılık görülmemesi ise öğrencilerin mesleğin temel özelliklerine ilişkin bilgi düzeylerinin ekonomik durumdan bağımsız biçimde benzer olabileceğini göstermektedir. Altınışık (2026), kariyer stresinin gelir düzeyine göre farklılaştığını belirtmektedir. Güner ve Hacıcaferoğlu (2022), aile gelirinin mesleki kariyer farkındalığı üzerinde anlamlı farklılık oluşturduğunu belirlemiştir. Yılmaz, Genç ve Safi'nin (2023) ise yüksek aile gelirine sahip öğrencilerin daha fazla kariyer gelişim engeli algılayabildiklerini ortaya koymuştur. Bu farklı sonuçlar, ekonomik kaynakların kariyer gelişimini yalnızca olumlu ya da olumsuz yönde etkileyen tek boyutlu bir değişken olmadığını; bireyin beklentileri, sosyal çevresi ve kariyer hedefleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Araştırmanın ekonomik duruma ilişkin bulguları genel olarak değerlendirildiğinde ekonomik açıdan daha avantajlı koşulların değerlendirici ve kendine güvenli problem çözme ile kariyer farkındalığı ve eğitimin yeterliliği gibi boyutlarla olumlu yönde ilişkili olduğu görülmektedir. Buna karşılık ekonomik güçlüklerin aceleci problem çözme eğilimini artırabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle üniversitelerde özellikle ekonomik olanakları sınırlı öğrencilere yönelik kariyer danışmanlığı, mentorluk, burs, staj ve mesleki gelişim desteklerinin güçlendirilmesi önemli görülmektedir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada spor bilimleri fakültesi öğrencilerinin problem çözme becerileri ile kariyer planlama süreçleri arasındaki ilişki; cinsiyet, spor türü, sınıf düzeyi, aktif spor yapma durumu, algılanan ekonomik düzey değişkenleri bakımından ele alınmıştır. Araştırma sonuçları, söz konusu değişkenlerin problem çözme ve kariyer planlamanın bazı alt boyutlarında anlamlı farklılıklar meydana getirdiğini göstermiştir.

Cinsiyet açısından erkek öğrencilerin bazı problem çözme yaklaşımlarında, kadın öğrencilerin

ise kariyer farkındalığı boyutunda daha yüksek puanlara sahip olduğu belirlenmiştir. Bireysel sporlarla ilgilenen öğrencilerin daha düşünerek, planlı ve kendine güvenli problem çözme eğilimi gösterdikleri; takım sporu yapan öğrencilerin ise mesleki farkındalık ve kariyere yönelik inanç düzeylerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Sınıf düzeyi ilerledikçe öğrencilerin bazı problem çözme ve kariyer planlama boyutlarında daha olumlu sonuçlar gösterdiği, ancak bu değişimin bütün alt boyutlarda doğrusal biçimde gerçekleşmediği tespit edilmiştir.

Aktif spor yapan öğrencilerin problem durumlarını düşünerek değerlendirme, çözüm seçeneklerini karşılaştırma, kendilerine güvenme ve planlı hareket etme düzeylerinin spor yapmayan öğrencilere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer biçimde aktif spor yapan öğrencilerin kariyer farkındalığı, mesleki farkındalık, kariyere yönelik inanç ve aldıkları eğitimin yeterliliğine ilişkin değerlendirmelerinin daha olumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, düzenli spor katılımının öğrencilerin yalnızca fiziksel gelişimleriyle değil, bilişsel ve mesleki gelişim süreçleriyle de ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Ekonomik düzeyi düşük öğrencilerin daha aceleci problem çözme eğiliminde oldukları; ekonomik olanakları daha yüksek olan öğrencilerin ise değerlendirici ve kendine güvenli problem çözme ile kariyer farkındalığı bakımından daha yüksek puanlar elde ettikleri belirlenmiştir. Bu bulgular, öğrencilerin içinde bulundukları sosyoekonomik koşulların problem çözme ve kariyer gelişimi üzerinde etkili olabileceğine işaret etmektedir.

Araştırmanın temel sonuçlarından biri, problem çözme becerileri ile kariyer planlama düzeyleri arasında anlamlı bir ilişkinin belirlenmesidir. Problem Çözme Envanteri'nin puanlama yönü dikkate alındığında, problem çözme yeterliği arttıkça kariyer planlama düzeyinin de yükseldiği anlaşılmaktadır. Özellikle düşünen, değerlendirici, kendine güvenli ve planlı problem çözme yaklaşımlarının kariyer planlama boyutlarıyla olumlu yönde ilişkili olduğu görülmüştür. Buna göre sorunları sistemli biçimde değerlendirebilen, alternatif çözüm yolları geliştirebilen ve kendi yeterliliğine güvenen öğrencilerin kariyer süreçlerini daha bilinçli ve planlı biçimde yönetebilecekleri söylenebilir.

Sonuç olarak spor bilimleri öğrencilerinin problem çözme yeterlikleri ile kariyer planlama süreçleri birbirini destekleyen yapılar olarak değerlendirilebilir. Bu doğrultuda spor bilimleri fakültelerinde öğrencilerin problem çözme, karar verme, hedef belirleme ve kariyer yönetimi becerilerini geliştirmeye yönelik uygulamalı eğitimlerin düzenlenmesi önerilmektedir. Kariyer merkezleri ile spor bilimleri fakülteleri arasındaki iş birliği artırılarak öğrencilere kariyer danışmanlığı, mesleki mentorluk, seminer, staj ve sektörle buluşma olanakları sunulabilir. Ayrıca ekonomik ve çevresel açıdan dezavantajlı öğrencilerin kariyer gelişimini destekleyecek burs, danışmanlık ve mesleki gelişim programları oluşturulabilir.

Benzer araştırmaların Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan spor bilimleri fakültelerinde daha geniş örneklemlemlerle tekrarlanması, sonuçların karşılaştırılmasına ve genellenebilirliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir. Bunun yanında problem çözme ve kariyer planlama ilişkisi; lisans öğrencilerinin yanı sıra beden eğitimi ve spor alanında tezli yüksek lisans ve doktora eğitimi alan öğrenciler üzerinde de incelenebilir. Gelecek araştırmalarda boylamsal, deneysel veya karma yöntemli desenlerden yararlanılması, öğrencilerin problem çözme ve kariyer planlama süreçlerinde zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin daha ayrıntılı biçimde açıklanmasını sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Adams, E. E. (1991). The quality revolution: A challenge to safety professionals. *Professional Safety*, 36(8), 22-28.

- Akay, B., Ceylan, M. ve Arslan, S. (2022). Üniversite öğrencilerinin serbest zaman tercihleri ile problem çözme becerileri arasındaki ilişki. *International Refereed Journal of Humanities and Academic Sciences*, 28, 27-47.
- Akgül, A. ve Mutlu, T. O. (2021). Basketbol klasman hakemlerinin iletişim becerilerinin problem çözme süreçleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 19(3), 81-95.
- Akın, S. ve Çakto, P. (2021). Spor yapma durumlarına göre üniversite öğrencilerinin problem çözme becerilerinin karşılaştırılması (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi örneği). *Uluslararası Spor Bilimleri Öğrenci Çalışmaları*, 3(2), 32-39.
- Aksan, N. ve Sözer, A. (2007). Üniversite öğrencilerinin epistemolojik inançları ile problem çözme becerileri arasındaki ilişkiler. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(1), 31-50.
- Aksoy, B. (2003). Problem çözme yönteminin çevre eğitiminde uygulanması. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 14(2), 83-98.
- Aksoy, G. (2020). *Kariyer planlaması ve kişilik arasındaki ilişki: Bitlis Eren Üniversitesi lisans öğrencileri örneği* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van.
- Aksüt, N. N., & Duman, S. (2024). Rekreasyon bölümü öğrencilerinin mesleki yeterlilikleri, iş bulma kaygısı ve kariyer planlamaları arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Mediterranean Journal of Sport Science*, 7(3), 552-570.
- Altınışık, Ü. (2026). Kariyer Farkındalığı ile Kariyer Stresi Arasındaki İlişki: Spor Bilimleri Fakültesi Öğrencileri Üzerine Bir Araştırma. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 21(1), 205-223.
- Ammerman, M. (1998). The root cause analysis handbook: A simplified approach to identifying, correcting, and reporting workplace error (1st ed). London: Productivity Press.
- Ayancı, H. (2019). *Bireysel ve takım sporu yapan üniversite öğrencilerinin iletişim becerilerinin problem çözme becerileri üzerindeki etkisinin incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aybek, S. (2023). Spor bilimleri öğrencilerinin kariyer farkındalığının araştırılması. *Journal of ROL Sport Sciences*, 4(3), 1169-1181.
- Aydın, A., & Pancar, Z. (2022). Boksörlerin özgüvenlerinin problem çözme becerisine etkisi. A. Çelik (Ed.), *ASAD-2021: Spor-Eğitim-Sağlık* içinde. Efe Akademi.
- Aytaç, S., ve Bayram, N. (2001). Üniversite gençliğinin iş ve eş seçimindeki etkin kriterlerinin analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile analizi. *Öneri Dergisi*, 4(16), 89-100.
- Basmacı, S. K. (1998). *Üniversite öğrencilerinin problem çözme becerilerini algılamalarının bazı değişkenler açısından incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- Bayraktaroğlu, S. (2011). İnsan kaynakları yönetimi (4. Baskı). Sakarya: Sakarya Yayıncılık.
- Bilge, F., & Arslan, A. (2000). Akılcı Olmayan düşünce Düzeyleri Farklı Üniversite Öğrencilerinin Problem Çözme Becerilerini Değerlendirmeleri. *Turkish Psychological Counseling and Guidance Journal*, 2(13), 7-18.
- Bingham, A. (1998). Çocuklarda problem çözme yeteneklerinin geliştirilmesi (A. Ferhan Oğuzkan, Çev.). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Brems, C., & Johnson, M. E. (1989). Problem-solving appraisal and coping style: The influence of sex-role orientation and gender. *The Journal of Psychology*, 123(2), 187-194.

- Çağlayan, H.S. (2007). *Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Öğrencilerinin Öğrenme Biçemleri ile Problem Çözme Becerileri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, V. O. (2021). The Relationship between Communication Skills and Career Awareness: An Example of Sports Sciences Faculty Students. *Journal of Educational Issues*, 7(2), 120-132.
- Çakto, P., & Görgüt, İ. (2019). Beden eğitimi ve spor eğitimi gören öğrencilerin kariyer planlama süreçlerinin incelenmesi. *Uluslararası Spor Bilimleri Öğrenci Çalışmaları*, 1(1), 69-80.
- Çam, S. (1997). Öğretmenlik formasyon eğitimi programının öğretmen adaylarının problem çözme becerisi algılarına etkisi. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 15(2), 56-61.
- Çatır, O. ve Karaçor, M. (2016). İnsan kaynaklarında kariyer planlama: turizm öğrencileri üzerinde bir alan araştırması. *Çatalhöyük Uluslararası Turizm ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 201-220.
- Çiçek, R. ve Durna, U. (2012). Meslek idealleri ve girişimcilik niyetleri. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(17), 17-31.
- Creed, P. A., Patton, W., ve Bartrum, D. (2004). Internal and external barriers, cognitive style, and the career development variables of focus and indecision. *Journal of career development*, 30(4), 277-294.
- Demirel, Ö. (1994). Genel öğretim yöntemleri (1. Baskı). Ankara: Usem Yayınları.
- Doğan, V. (2016). *Beden eğitimi ve spor yüksekokulu öğrencilerinin saldırganlık düzeyleri ile problem çözme becerilerinin tespiti* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dündar, S. (2016). Üniversite öğrencilerinin kişilik özellikleri ile problem çözme becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 139-150.
- Durmuş, E., Bozkuş, T. ve Durmuş, G. (2022). Beden eğitimi öğretmen adaylarının sosyal problem çözme ve kararlılık düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Uluslararası Güncel Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 636-647.
- D'Zurilla, T. J., ve Nezu, A. M. (2001). Problem-solving therapies. In K. S. Dobson (Ed.), *Handbook of cognitive-behavioral therapies* (2nd ed., pp. 211-245). Newyork: Guilford Press.
- Eral, S., Uzun, R.N. ve Çebi, A.İ. (2024). Spor Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Kariyer Planlaması ve İş Bulma Kaygılarının İncelenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 15(2), 315-324.
- Eratlı Şirin, Y., & Aydın, Ö. (2020). Spor Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Kariyer Değerlerinin İncelenmesi. *Mediterranean Journal of Sport Science*, 3(2), 317-330.
- Erdemli, E. ve Yaşartürk, F. (2020). Beden eğitimi ve spor öğretmenliği bölümü öğrencilerinin serbest zaman doyum düzeyi ve problem çözme becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(3), 1871-1882.
- Eroğlu, S. Y., & Eroğlu, E. (2020). Career planning scale of students studied in sports sciences (CPS): Validity and reliability study. *International Journal of Progressive Education*, 16(3), 123-131.
- Ertekin, A. B. (2020). Spor eğitimi alanında öğrenim gören öğrencilerin girişimcilik düzeyleri ile kariyer farkındalıkları arasındaki ilişki. *İnönü Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 7(3), 14-27.

- Feldman, D. C. (2003). The antecedents and consequences of early career indecision among young adults. *Human resource management review*, 13(3), 499-531.
- Ferah, D. (2000). *Kara harp okulu öğrencilerinin problem çözme becerilerini algılamalarının ve problem çözme yaklaşım biçimlerinin cinsiyet, sınıf, akademik başarı ve liderlik yapma açısından incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Gayretli, Z. (2025). An Examination of the relationship between knowledge management and career planning among students in the field of sports sciences. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 27(3), 449-466.
- Gölgeleyen, Y. (2011). *Endüstri Meslek Lisesi Öğrencilerinin Problem Çözme Becerilerinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Gültekin, A. (2006). *Psikolojik Danışmanlık ve Rehberlik Öğrencilerinin Problem Çözme Becerilerinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Güner, O. ve Hacıcaferoğlu, S. (2022). Spor bilimlerinde öğrenim gören üniversite öğrencilerinin kariyer farkındalıklarının incelenmesi: Karadeniz bölgesi örneği. *Gençlik Araştırmaları Dergisi*, 10(28), 111-130.
- Heppner, P. P., Reeder, B. L., & Larson, L. M. (1983). Cognitive variables associated with personal problem-solving appraisal: Implications for counseling. *Journal of Counseling Psychology*, 30(4), 537-545.
- Heppner, P. P., ve Krauskopf, C. J. (1987). An information-processing approach to personal problem solving. *The counseling psychologist*, 15(3), 371-447.
- Heppner, P. P., ve Petersen, C. H. (1982). The Development and implications of a personal problem-solving inventory. *Journal of Counseling Psychology*, 29(1), 66-75.
- Heppner, P. P., Witty, T. E., ve Dixon, W. A. (2004). Problem-solving appraisal: Helping normal people lead better lives. *The Counseling Psychologist*, 32(3), 466-472.
- İrmiş, A. ve Barutçu, E. (2012). Öğrencilerin kendilerini girişimci bir kişiliğe sahip görmelerini ve iş kurma niyetlerini etkileyen faktörler: Bir alan araştırması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(2), 1-25.
- Kabadayı, M., Abış, S., Yılmaz, A. K., Bostancı, Ö., Şebin, K. (2020). Elit sporcular ile sedanterlerin problem çözme becerileri ve karar verme düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Uluslararası Güncel Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 325-337.
- Karabulut, E. O., Karacan Doğan, P., & Durmuş, G. (2024). Spor Bilimleri Eğitimi Alan Öğrencilerin Girişimcilik ve Problem Çözme Becerilerinin İncelenmesi. *Eurasian Research in Sport Science*, 9(1), 47-63
- Karasar, N. (2020). *Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler* (32. baskı). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Katkat, D. (2003). Öğretmen adaylarının problem çözme becerilerinin cinsiyetler ve alanlar bakımından karşılaştırılması. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 8(3), 11-18.
- Kaya, F. ve Şarlı, E. (2020). Spor bilimleri fakültesinde öğrenim gören öğrencilerin problem çözme becerilerinin psikolojik dayanıklılık ve benlik saygısı ile ilişkisi. *Eurasian Research in Sport Science*, 5(1), 60-77.
- Kılıç, H. S., ve Çevikcan, E. (2011). Job selection based on fuzzy AHP: An investigation including the students of Istanbul Technical University Management Faculty. *International Journal of Business and Management Studies*, 3(1), 173-182.

- Kim, H.-Y. (2013). Statistical notes for clinical researchers: Assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 38(1), 52–54.
- Koca, A.İ. (2009). *Üniversite öğrencilerinin değerleri ve bireysel özellikleri ile kariyer tercihleri arasındaki ilişki: Çukurova Üniversitesi'nde bir araştırma* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Koçak, D. (2019). Kariyer planlama. E. Kaygın ve Y. Zengin (Ed.), *Kariyer: Temel kavramlar, yönetimi, güncel konular içinde* (ss. 107–121). Konya: Eğitim Yayınevi.
- Kuru, E., ve Karabulut, E. O. (2009). Ritim eğitimi ve dans dersi alan ve almayan beden eğitimi ve spor yüksekokulu öğrencilerinin problem çözme becerilerinin çeşitli değişkenler bakımından incelenmesi. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 29(2), 441-458.
- Öğülmüş, S. (2006). *Kişilerarası sorun çözme becerileri ve eğitimi* (1. Baskı). Ankara: Nobel Yayınları.
- Özdemir, Y. ve Mazgal, S. (2012). Bir kariyer tercihi olarak girişimcilikte dışsal faktörlerin etkisi: Sakarya örneği, *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 7(1), 87-102.
- Özkan, E., Kula, H. ve Soyer, F. (2022). Spor yöneticiliği bölümünde öğrenim gören öğrencilerin liderlik özellikleri ile problem çözme becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 5(3), 55-69.
- Öztürk, F., İnce, G. ve Zülkadiroğlu, Z. (2000). Çukurova Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu öğrencileri problem çözme becerisi algıları. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 2(1), 33-44.
- Pulur, A., Karabulut, E. O., & Koç, H. (2012). Farklı branşlardaki üst düzey üniversiteli sporcuların problem çözme becerilerinin incelenmesi. *Spormetre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 10(1), 1-6.
- Sahin, N., Sahin, N. H., & Heppner, P. P. (1993). Psychometric properties of the Problem Solving Inventory in a group of Turkish university students. *Cognitive Therapy and Research*, 17(4), 379–396.
- Savickas, M. L. (2012). Life design: A paradigm for career intervention in the 21st century. *Journal of counseling ve development*, 90(1), 13-19.
- Serdar, E., Demirel, M., Harmandar Demirel, D. ve Çakır, V.O. (2017). Üniversite öğrencilerinin serbest zaman algı düzeyleri ile problem çözme becerileri arasındaki ilişki. *The Journal of Social Sciences*, 18(18), 549-560.
- Stevens, M. (1998). *Daha iyi nasıl sorun çözümleme* (A. Çimen, Çev.). Timaş Yayınları.
- Taylan, S. (1990). *Heppner'in problem çözme envanterinin uygulama, güvenlik ve geçerlilik çalışmaları* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Temel, V., & Nas, K. (2018). Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Öğrencilerinin Kariyer Geleceği Algı Düzeylerinin İncelenmesi. *İnönü Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 5(3), 35-45.
- Tüm kaya, S., & İflazoğlu, U. A. (2000). Ç Ü Sınıf öğretmenliği öğrencilerinin otomatik düşünce ve problem çözme düzeylerinin bazı sosyo demografik değişkenlere göre incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(6), 143-158.
- Türkçapar, Ü. (2009). Beden eğitimi spor yüksek okulu öğrencilerinin farklı değişkenler açısından problem çözme becerileri. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10(1), 129-139.

- Uyar, H., Uyar, Y., & Erdeveciler, Ö. (2024). Spor bilimleri fakültesi öğrencilerinin kariyer uyum yeteneği düzeylerinin belirlenmesi: Ankara ili örneği. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 22(1), 41-52.
- Yılmaz, G., Genç, N., & Safi, Z. (2023). Examination of career awareness of university students studying in the field of sport sciences. *International Journal of Recreation and Sports Science*, 7(1), 41–49.
- Yılmaz, K. ve Caz, Ç. (2022). *Spor bilimleri fakültesi öğrencilerinin kariyer planlamaları ile iş bulma kaygıları arasındaki ilişki* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Yılmaz, M. (2023). *Sportif eğitim uzmanlarının iş doyum düzeylerinin kariyer planlama tutumlarına etkisi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın.
- Yurtsızoglu, Z. ve Gül O. (2023). Kariyer eğitimi ve kariyer planlama farkındalığının spor endüstrisi için önemi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 42(1): 431-468.

ÜNİVERSİTEDE ÖĞRENİM GÖREN YABANCI UYRUKLU ÖĞRENCİLERİN BOŞ ZAMAN ENGELLERİNİN ÇEŞİTLİ DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ

Moath Fuad Mahmoud MALKAWI

Kütahya Dumlupınar University, Graduate School of Education, Department of Physical
Education and Sports, 43100 Kirazpınar, Kütahya

ORCID ID: 0009-0002-5157-0743

Prof. Dr. Oğuzhan YÜKSEL

Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Sports Sciences, Department of Recreation,
43100 Kirazpınar, Kütahya

ORCID ID: 0000-0002-4172-8298

Gökay KONUK

Kütahya Dumlupınar University, Graduate School of Education, Department of Physical
Education and Sports, 43100 Kirazpınar, Kütahya

ORCID ID: 0000-0001-9480-4904

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, üniversitede öğrenim gören yabancı uyruklu öğrencilerin boş zaman engellerinin çeşitli değişkenlere göre incelemektir. Araştırmanın örneklemini, Kütahya Dumlupınar Üniversitesinde öğrenim gören yabancı uyruklu ve amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenen 201 kadın ve 215 erkek olmak üzere toplam 416 öğrenci oluşturmıştır.

Veriler, Boş Zaman Engelleri Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Ölçeğin ilk formu Alexandris ve Carroll (1997) tarafından geliştirilmiş, Türkçeye uyarlaması Karaküçük ve Gürbüz (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Gürbüz vd. (2020), ölçeğin Türkçe kısa formu oluşturulmuştur. Analizlerde bağımsız örneklem t-testi ve tek yönlü varyans analizinden yararlanılmış, anlamlılık düzeyi $p < .05$ olarak kabul edilmiştir.

Araştırma bulguları, yabancı uyruklu üniversite öğrencilerinin boş zaman engellerinin çeşitli değişkenlere göre farklılaştığını göstermiştir. Cinsiyet, aktif spor yapma durumu, yaş, hissedilen ekonomik durum, günlük boş zaman süresi ve tercih edilen faaliyet türüne göre Boş Zaman Engelleri Ölçeği'nin farklı alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Cinsiyete göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği ve Zaman; aktif spor yapma durumuna göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği; yaşa göre ise Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Arkadaş Eksikliği ve İlgi Eksikliği boyutlarında anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Hissedilen ekonomik durumun Arkadaş Eksikliği dışındaki tüm alt boyutlarda, günlük boş zaman süresinin Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği boyutlarında, tercih edilen faaliyet türünün ise Birey Psikolojisi, Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği boyutlarında farklılaşma oluşturduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak yabancı uyruklu öğrencilerin boş zaman engellerinin çok boyutlu bir yapı gösterdiğini ve özellikle Zaman boyutunun çeşitli değişkenler açısından öne çıktığını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Boş zaman, Engel, Yabancı Uyruklu Öğrenci

AN ANALYSIS OF LEISURE-TIME BARRIERS AMONG FOREIGN STUDENTS ENROLLED AT UNIVERSITIES IN RELATION TO VARIOUS VARIABLES

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the leisure-time barriers faced by foreign students enrolled in university, according to various variables. The study sample consisted of a total of 416 students—201 women and 215 men—who are foreign nationals enrolled at Kütahya Dumlupınar University and were selected using a purposive sampling method. Data were collected using the Leisure Time Barriers Scale. The original version of the scale was developed by Alexandris and Carroll (1997), and its adaptation into Turkish was carried out by Karaküçük and Gürbüz (2006). Subsequently, Gürbüz et al. (2020) developed a short-form version of the scale in Turkish. The analyses utilized the independent samples t-test and one-way analysis of variance (ANOVA), with a significance level of $p < .05$.

The research findings indicate that the leisure time barriers of foreign university students differ according to various variables. Significant differences were identified in the various subscales of the Leisure Time Barriers Scale based on gender, engagement in active sports, age, perceived economic status, daily leisure time duration, and preferred activity type. Significant differences were found in the Individual Psychology, Lack of Information, and Time subscales based on gender; in the Individual Psychology, Lack of Information, Time, and Lack of Interest subscales based on participation in organized sports; and in the Individual Psychology, Lack of Information, Lack of Friends, and Lack of Interest subscales based on age. It was determined that perceived economic status created differences in all subdimensions except Lack of Friends; daily leisure time duration created differences in the Lack of Friends, Time, and Lack of Interest dimensions; and the preferred type of activity created differences in the Individual Psychology, Lack of Friends, Time, and Lack of Interest dimensions.

In conclusion, the study revealed that the leisure time barriers faced by international students exhibit a multidimensional structure, with the “Time” dimension standing out in particular across various variables.

Keywords: Leisure time, Barrier, International Student

1. GİRİŞ

“Leisure” kavramının kökeni Latince “licere” sözcüğüne dayanmakta ve izinli olma ile serbestlik anlamlarıyla ilişkilendirilmektedir (Cordes ve Ibrahim, 2003). Fransızcadaki “loisir” ile İngilizcede izin ve özgürlük anlamı taşıyan bazı sözcüklerin de aynı kökten geldiği ve zorunluluktan uzak olma ile seçim serbestliğini ifade ettiği belirtilmektedir (Bakır, 1990). Türkçede “boş zaman” olarak karşılık bulan kavram, iş yaşamının zorunluluklarından uzaklaşma, dinlenme ve serbestlik durumuyla açıklanmaktadır (Aytaç, 2006; Gül, 2014). Çalışan bireyler açısından boş zamanın motivasyon, kişisel yeterlilik, etkinliğe bağlılık ve tatmin gibi unsurlarla ilişkili olduğu belirtilmektedir (Köybaşı, 2006).

Boş zaman etkinliklerine katılım sürecinde bireyler çeşitli kısıtlamalarla karşılaşabilmektedir. Boş zaman literatüründe “engel” kavramı, bireyin rekreatif etkinliklere katılımını önleyen veya sınırlandıran nedenleri ifade etmektedir (Ayhan vd., 2018; Gürbüz ve Karaküçük, 2007; Has, 2016). Boş zaman kısıtlamaları toplumsal yapı, kültürel ve yerel değerler, çevresel koşullar ile bireylerin tutum ve davranışları kapsamında ele alınmaktadır (Gürbüz vd., 2020; Jenkins ve Pigram, 2003). Crawford vd. (1991), bu kısıtlamaları bireysel, bireylerarası ve yapısal olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır. Yaş, cinsiyet, eğitim ve medeni durum gibi demografik

özellikler de boş zaman kısıtlamalarına ilişkin araştırmalarda incelenen değişkenler arasında yer almaktadır (Alexandris ve Carroll, 1997).

Serbest zaman engelleri, rekreatif etkinliklere katılımı sınırlandıran, katılım sıklığını azaltan veya bireyin etkinliğe katılma isteğini etkileyen faktörler kapsamında tanımlanmaktadır (Jackson ve Henderson, 1995). Daha sonraki çalışmalarda bu faktörler, katılımı tamamen ortadan kaldıran engeller yerine katılım üzerinde kısıtlayıcı nitelik taşıyan koşullar olarak ele alınmıştır (Jackson vd., 1993). Üniversite öğrencileri üzerinde gerçekleştirilen araştırmalarda tesis ve donanım yetersizliği, ulaşım sorunları, bilgi ve zaman eksikliği, ders yoğunluğu, ekonomik yetersizlikler, sosyal çevre ve etkinliklerin ilgi çekici bulunmaması rekreatif etkinliklere katılımı sınırlandıran faktörler arasında belirlenmiştir (Acun, Avcı ve Şahin, 2015; Aydoğdu vd., 2018; Demirel ve Harmandar, 2009; Hashim, 2012; Honça ve Çetinkaya, 2017; Lapa ve Ardahan, 2009; Young vd., 2003).

Türkiye’de bir yükseköğretim kurumunda burslu veya burssuz olarak öğrenim gören ve Türk vatandaşı olmayan bireyler uluslararası öğrenci kapsamında değerlendirilmektedir (Kadioğlu ve Özer, 2015). Yılmaz (2018), yurtdışında öğrenim sürecinin uluslararası öğrenciler açısından çeşitli güçlükleri içerdiğini belirtmiş ve üniversitelerin bu öğrencilerin gereksinimlerini dikkate alarak onları kampüs yaşamına dahil etmeye yönelik uygulamalar gerçekleştirdiklerini ifade etmiştir. Osmanlı (2018) tarafından uluslararası öğrenciler üzerinde gerçekleştirilen çalışmada ise sosyal yaşamın yetersizliği, öğrencilerin ilgi alanlarına uygun etkinliklerin sınırlı olması ve ekonomik güçlükler başlıca uyum sorunları arasında belirlenmiştir.

Uluslararası öğrencilerin boş zaman etkinliklerine katılımında karşılaştıkları engeller farklı araştırmalarda da incelenmiştir. Cho ve Price (2018), 196 yerli ve 77 uluslararası üniversite öğrencisini karşılaştırdıkları çalışmalarında, uluslararası öğrencilerin bireysel ve yapısal boş zaman engellerinin yerli öğrencilere göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Park vd. (2015), Amerika Birleşik Devletleri’nde öğrenim gören 116 Asyalı uluslararası öğrenci üzerinde gerçekleştirdikleri araştırmada zaman yetersizliğini fiziksel aktiviteye katılımı sınırlandıran belirgin engellerden biri olarak tespit etmiş ve kültürel engelleri de araştırma modeline dahil etmiştir. Shifman vd. (2012) tarafından 292 üniversite öğrencisi üzerinde yürütülen araştırmada ise uluslararası ve yerli öğrencilerin boş zaman ve spor etkinliklerine katılım engelleri karşılaştırılmış; bazı uluslararası öğrenci gruplarında kişilerarası ve bireysel engellerin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bu araştırmada, üniversitede öğrenim gören yabancı uyruklu öğrencilerin boş zaman engellerinin belirlenmesi ve söz konusu engellerin araştırma kapsamında ele alınan çeşitli değişkenlere göre incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Araştırmanın Modeli

Araştırma, nicel yöntem kapsamında betimsel tarama modeliyle yürütülmüştür. Bu model, mevcut bir durumu herhangi bir müdahalede bulunmadan, doğal koşulları içinde olduğu biçimiyle tanımlamayı amaçlamaktadır (Karasar, 2020). Araştırmanın evrenini Kütahya Dumlupınar Üniversitesinde öğrenim gören öğrenciler oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini, Kütahya Dumlupınar Üniversitesinde öğrenim gören yabancı uyruklu ve amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenen 201 kadın ve 215 erkek olmak üzere toplam 416 öğrenci oluşturmuştur.

2.2. Veri Toplama Araçları

2.2.1. Kişisel Bilgi Formu

Araştırmanın ilk bölümünde, katılımcıların sosyo-demografik özelliklerini belirlemek amacıyla araştırmacı tarafından hazırlanan altı soruya yer verilmiştir. Bu sorular; “yaş”, “cinsiyet”, “hissedilen ekonomik durum”, “aktif spor yapıyor musunuz?”, “günde ne kadar boş zamanınız var ?” ve “boş zamanınızı hangi faaliyetler ile değerlendiriyorsunuz?” değişkenlerini kapsamaktadır. Elde edilen bilgilerle katılımcıların genel özelliklerinin belirlenmesi ve araştırma bulgularının bu değişkenler doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2.2.2. Boş Zaman Engelleri Ölçeği-Kısa Formu

Araştırmada, bireylerin boş zaman etkinliklerine katılım sürecinde karşılaştıkları sınırlayıcı unsurların belirlenmesi amacıyla Boş Zaman Engelleri Ölçeği-Kısa Formu (BZEÖ-KF) kullanılacaktır. Ölçeğin ilk formu Alexandris ve Carroll (1997) tarafından geliştirilmiş, Türkçeye uyarlama çalışması ise Karaküçük ve Gürbüz (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Gürbüz vd. (2020), ölçeğin Türkçe kısa formunun yapı geçerliğini incelemiş ve gerçekleştirilen doğrulayıcı faktör analizi sonucunda ölçeğin 18 maddeden ve altı alt boyuttan oluşan yapısını doğrulamıştır.

BZEÖ-KF; Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Tesis, Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği olmak üzere altı boyuttan oluşmaktadır. Her bir alt boyutta üç madde bulunmakta ve böylece ölçek toplam 18 maddeden meydana gelmektedir. Ölçek maddeleri 4'lü Likert tipi bir derecelendirme sistemiyle yanıtlanmaktadır. Katılımcıların verdikleri cevaplar 1 = Kesinlikle Önemsiz, 2 = Önemsiz, 3 = Önemli ve 4 = Kesinlikle Önemli biçiminde puanlanmaktadır.

Gürbüz vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen geçerlik ve güvenirlik çalışmasında, kısa formda yer alan maddelerin faktör yüklerinin 0,49 ile 0,89 arasında değiştiği bildirilmiştir. Ölçeğin alt boyutlarına ait Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları; Birey Psikolojisi boyutunda $\alpha = .77$, Bilgi Eksikliği boyutunda $\alpha = .86$, Tesis boyutunda $\alpha = .80$, Arkadaş Eksikliği boyutunda $\alpha = .81$, Zaman boyutunda $\alpha = .65$ ve İlgi Eksikliği boyutunda $\alpha = .76$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, 18 madde ve altı faktörden oluşan kısa formun üniversite öğrencilerinin boş zaman etkinliklerine katılımını sınırlandıran etmenlerin değerlendirilmesinde geçerli ve güvenilir bir ölçme aracı olduğu ifade edilmiştir (Gürbüz et al., 2020).

2.2.4. Araştırmanın Protokolü

Araştırmada kullanılan ölçme araçlarına ilişkin gerekli kullanım izinleri alınmıştır. Çalışma için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulundan 23.02.2026 tarihli ve 568 sayılı karar ile etik onay alınmıştır. Veri toplama öncesinde katılımcılara araştırmanın amacı ve süreci hakkında bilgi verilmiş, katılımın gönüllülük esasına dayandığı ve istedikleri zaman araştırmadan çekilebilecekleri belirtilmiştir. Katılımcıların kişisel bilgilerinin gizli tutulacağı ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı açıklanmış, ardından yazılı gönüllü onamları alınmıştır.

2.2.5. Veri Analizi

Veriler Excel'e aktarıldıktan sonra ayrıntılı bir inceleme sürecinden geçirilmiş; eksik ya da hatalı bilgi içeren katılımcılar analiz kapsamı dışında bırakılmıştır. Veri seti, daha sonra SPSS 24.0 paket programına aktarılmıştır. Normallik varsayımının değerlendirilmesi amacıyla çarpıklık (Skewness) ve basıklık (Kurtosis) değerleri incelenmiş; söz konusu değerlerin -2 ile +2 aralığında bulunması, veri setinin normal dağılım varsayımını karşıladığı şeklinde yorumlanmıştır (George ve Mallery, 2010).

Veri analiz sürecinde öncelikle betimsel istatistikler hesaplanmış, ardından gruplar arası farklılıkların incelenmesi için bağımsız örneklem (T-testi) ve tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Varyansların homojenlik varsayımının sağlanmadığı durumlarda anlamlı farklılıkların kaynağını belirlemek amacıyla Post Hoc testlerinden Tukey HSD testi tercih edilmiştir. Bağımsız örneklem t-testleri için Cohen's d değerleri, varyans analizi için ise Eta-Kare (η^2) değerleri hesaplanarak raporlanmıştır. Bulguların pratik önemini ortaya koymak ve yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla etki büyüklüğü ölçütlerinden yararlanılmıştır (Cohen, 1988; Lakens, 2013). Tüm istatistiksel değerlendirmeler $p < 0.05$ anlamlılık düzeyi temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.BULGULAR

Tablo 3.1. Ölçek Boyutlarına İlişkin Betimleyici İstatistikler (N, Ortalama, Standart Sapma, Çarpıklık ve Basıklık Değerleri)

Boyut	N	Ort.	SS	Çarpıklık	Basıklık
Birey Psikolojisi	416	7,58	1,73	-,106	-,407
Bilgi Eksikliği	416	7,41	1,88	-,002	-,396
Tesis	416	7,56	1,72	-,041	-,002
Arkadaş Eksikliği	416	7,18	1,87	,025	-,019
Zaman	416	7,81	1,82	-,145	-,656
İlgi Eksikliği	416	7,67	1,89	,186	-,431

Tablo 3.2. Katılımcılara İlişkin Demografik Özellikler

	Kategori	N	%
Cinsiyet	Kadın	201	48,3
	Erkek	215	51,7
	<i>Toplam</i>	416	100,0
Yaş	18-23 Yaş	105	25,2
	24-27 Yaş	132	31,7
	28 Yaş ve Üzeri	179	43,0
	<i>Toplam</i>	416	100,0
Ekonomik Durum	Düşük	55	13,2
	Orta	208	50,0
	Yüksek	153	36,8
	<i>Toplam</i>	416	100,0
Aktif Spor Yapma	Evet	257	61,8
	Hayır	159	38,2
	<i>Toplam</i>	416	100,0
Günlük Boş Zaman	1 Saat	56	13,5

Faaliyet Türü	2-3 Saat	135	32,5
	4-7 Saat	225	54,1
	<i>Toplam</i>	<i>416</i>	<i>100,0</i>
	Kültürel Faaliyetler	89	21,4
	Sosyal Faaliyetler	171	41,1
	Sportif Faaliyetler	156	37,5
	<i>Toplam</i>	<i>416</i>	<i>100,0</i>

Katılımcıların cinsiyet dağılımı dengeli olup, erkeklerin oranı (%51,7) kadınlardan (%48,3) biraz daha yüksektir. Yaş grupları incelendiğinde, en büyük payı 28 yaş ve üzeri bireyler (%43,0) oluştururken, 24-27 yaş aralığı (%31,7) ve 18-23 yaş aralığı (%25,2) daha düşük oranlarda temsil edilmektedir. Ekonomik durum açısından katılımcıların yarısı (%50,0) orta gelir grubunda yer almakta, yüksek gelir grubunun oranı (%36,8) düşük gelir grubuna (%13,2) göre daha belirgin şekilde fazladır. Spor yapma alışkanlıkları değerlendirildiğinde, katılımcıların çoğunluğu (%61,8) aktif olarak spor yapmakta olup bu durum örneklemin sağlıklı yaşam eğilimlerine işaret etmektedir. Günlük boş zaman dağılımında ise büyük bir kesim (%54,1) 4-7 saatlik serbest zamana sahipken, daha az bir grup (%13,5) yalnızca 1 saat boş zaman ayırmaktadır. Faaliyet türleri incelendiğinde, sosyal faaliyetler (%41,1) en yaygın tercih edilen etkinlikler olurken, sportif faaliyetler (%37,5) ve kültürel faaliyetler (%21,4) daha düşük oranlarda tercih edilmektedir. Bu sonuçlar, örneklem grubunun sosyal yaşamda aktif, boş zamanlarını daha çok sosyal ve sportif etkinliklere yönlendiren, aynı zamanda ekonomik açıdan orta ve yüksek gelir düzeyinde yoğunlaşan bir profil sergilediğini göstermektedir.

Tablo 3.3. Cinsiyet Değişkenine Göre T-Testi Sonuçları

Boyut	Cinsiyet	N	Ort.	SS	t	p	Cohen's d
Birey Psikolojisi	Kadın	201	7,83	1,61	2,770	,006*	,272
	Erkek	215	7,36	1,82			
Bilgi Eksikliği	Kadın	201	7,71	1,88	3,236	,001*	,317
	Erkek	215	7,12	1,84			
Tesis	Kadın	201	7,72	1,65	1,852	,065	,182
	Erkek	215	7,40	1,78			
Arkadaş Eksikliği	Kadın	201	7,01	1,99	-1,740	,083	-,172
	Erkek	215	7,33	1,74			
Zaman	Kadın	201	7,53	1,82	-3,066	,002*	-,301
	Erkek	215	8,07	1,78			
İlgi Eksikliği	Kadın	201	7,78	1,93	1,149	,251	,113
	Erkek	215	7,56	1,85			

*p < ,05

Katılımcıların cinsiyetine göre boş zaman engelleri ölçeği alt boyutlarından elde edilen puanlar bağımsız örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, Birey Psikolojisi alt boyutunda kadın ve erkek katılımcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğunu

göstermiştir ($t(414) = 2,77$, $p = ,006$, Cohen's $d = ,272$). Bu bulgu, kadın katılımcıların bu boyuttaki engel algısının erkek katılımcılara göre daha yüksek düzeyde olduğuna işaret etmektedir. Benzer şekilde Bilgi Eksikliği boyutunda da anlamlı bir farklılık saptanmış olup ($t(414) = 3,24$, $p = ,001$, $d = ,317$), kadın katılımcılar lehine bir farklılaşma gözlenmiştir. Zaman boyutunda da anlamlı bir fark bulunmuş ($t(414) = -3,07$, $p = ,002$, $d = -,301$), ancak bu kez erkek katılımcıların zaman kaynaklı engel algısının kadın katılımcılara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna karşılık Tesis ($t(414) = 1,85$, $p = ,065$), Arkadaş Eksikliği ($t(414) = -1,75$, $p = ,083$) ve İlgi Eksikliği ($t(414) = 1,15$, $p = ,251$) boyutlarında cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa rastlanmamıştır.

Tablo 3.4. Aktif Spor Yapma Durumuna Göre T-Testi Sonuçları

Boyut	Aktif Spor Yapma	N	Ort.	SS	t	p	Cohen's d
Birey Psikolojisi	Evet	257	7,74	1,68	2,391	,017*	,241
	Hayır	159	7,33	1,80			
Bilgi Eksikliği	Evet	257	7,64	1,94	3,382	,001*	,332
	Hayır	159	7,03	1,72			
Tesis	Evet	257	7,66	1,81	1,663	,097	,162
	Hayır	159	7,38	1,55			
Arkadaş Eksikliği	Evet	257	7,05	2,09	-1,825	,069	-,169
	Hayır	159	7,37	1,45			
Zaman	Evet	257	7,57	1,86	-3,456	,001*	-,349
	Hayır	159	8,20	1,69			
İlgi Eksikliği	Evet	257	7,84	1,94	2,352	,019*	,237
	Hayır	159	7,39	1,79			

* $p < ,05$

Aktif spor yapma durumuna göre yapılan t-testi sonuçlarına göre, Birey Psikolojisi ($t(414) = 2,39$, $p = ,017$, $d = ,241$); Bilgi Eksikliği ($t(414) = 3,29$, $p = ,001$, $d = ,332$) ve İlgi Eksikliği ($t(414) = 2,35$, $p = ,019$, $d = ,237$) boyutlarında aktif olarak spor yapan katılımcıların engel algısının spor yapmayanlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Zaman boyutunda da anlamlı bir fark bulunmuş, ancak bu farkın yönü tersine dönmüş ($t(414) = -3,46$, $p = ,001$, $d = -,349$), spor yapmayan katılımcıların zaman kaynaklı engel algısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tesis ($t(414) = 1,66$, $p = ,097$) ve Arkadaş Eksikliği ($t(414) = -1,83$, $p = ,069$) boyutlarında ise anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.

Tablo 3.5. Yaş Değişkenine Göre Tek Yönlü ANOVA Sonuçları

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
Birey Psikolojisi	Gruplar Arası	136,468	2	68,234	25,329	,000*	,109
	Gruplar İçinde	1112,587	413	2,694			
	Toplam	1249,055	415				

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
Bilgi Eksikliği	Gruplar Arası	57,878	2	28,939	8,474	,000*	,039
	Gruplar İçinde	1410,466	413	3,415			
	Toplam	1468,344	415				
Tesis	Gruplar Arası	17,630	2	8,815	3,006	,051	,014
	Gruplar İçinde	1211,098	413	2,932			
	Toplam	1228,728	415				
Arkadaş Eksikliği	Gruplar Arası	32,461	2	16,230	4,715	,009*	,022
	Gruplar İçinde	1421,729	413	3,442			
	Toplam	1454,190	415				
Zaman	Gruplar Arası	,156	2	,078	,023	,977	,000
	Gruplar İçinde	1376,459	413	3,333			
	Toplam	1376,615	415				
İlgi Eksikliği	Gruplar Arası	24,659	2	12,329	3,483	,032*	,017
	Gruplar İçinde	1461,896	413	3,540			
	Toplam	1486,555	415				

*p<,05

Yaş değişkenine göre yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları, katılımcıların engel algısında belirli boyutlarda anlamlı farklılıklar olduğunu göstermektedir. Özellikle Birey Psikolojisi boyutunda gruplar arasında güçlü bir farklılık saptanmış ($F(2, 413) = 25,33$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,109$) ve bu etki büyüklüğü orta düzeye yakın bir etki olarak değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra Bilgi Eksikliği ($F(2, 413) = 8,47$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,039$), Arkadaş Eksikliği ($F(2, 413) = 4,72$, $p = ,009$, $\eta^2 = ,022$) ve İlgi Eksikliği ($F(2, 413) = 3,48$, $p = ,032$, $\eta^2 = ,017$) boyutlarında da anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Buna karşılık Tesis ($F(2, 413) = 3,01$, $p = ,051$, $\eta^2 = ,014$) ve Zaman ($F(2, 413) = 0,02$, $p = ,977$, $\eta^2 = ,000$) boyutlarında yaşa göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Genel olarak etki büyüklükleri incelendiğinde, Birey Psikolojisi boyutundaki farkın diğer boyutlara kıyasla daha güçlü olduğu, diğer anlamlı farkların ise küçük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 3.6. Yaş Değişkenine Göre Anlamlı Farklılıklara İlişkin Çoklu Karşılaştırma (Tukey HSD) Sonuçları

Boyut	(I) Grup	(J) Grup	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	p
Birey Psikolojisi	18-13 Yaş	24-27 Yaş	-,537*	,215	,034*
	18-13 Yaş	28 yaş ve üzeri	-1,382*	,202	,000*
	24-27 Yaş	28 yaş ve üzeri	-,845*	,188	,000*

Boyut	(I) Grup	(J) Grup	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	p
Bilgi Eksikliği	18-13 Yaş	24-27 Yaş	-,582*	,242	,043*
		28 yaş ve üzeri	-,935*	,227	,000*
Arkadaş Eksikliği	24-27 Yaş	28 yaş ve üzeri	,585*	,213	,017*
İlgi Eksikliği	24-27 Yaş	28 yaş ve üzeri	-,545*	,216	,032*

*p<,05

Tukey HSD testi sonuçlarına göre, Birey Psikolojisi boyutunda üç yaş grubu arasındaki tüm ikili karşılaştırmalar anlamlı bulunmuş ve engel algısının yaş arttıkça kademeli olarak yükseldiği belirlenmiştir; 28 yaş ve üzeri grup en yüksek, 18-23 yaş grubu ise en düşük düzeyde algıya sahiptir. Bilgi Eksikliği boyutunda, 18-23 yaş grubunun hem 24-27 yaş hem de 28 yaş ve üzeri gruplardan anlamlı düzeyde daha düşük puanlara sahip olduğu, ancak 24-27 yaş ile 28 yaş ve üzeri gruplar arasında fark olmadığı görülmüştür. Arkadaş Eksikliği boyutunda yalnızca 24-27 yaş ile 28 yaş ve üzeri grup arasında anlamlı bir fark saptanmış olup, 24-27 yaş grubunun daha yüksek engel algısına sahip olduğu belirlenmiştir. İlgi Eksikliği boyutunda da benzer bir örüntü gözlenmiş, yalnızca 24-27 yaş ile 28 yaş ve üzeri grup arasında anlamlı fark ortaya çıkmış ve bu fark 28 yaş ve üzeri grubun lehine olmuştur. Bu sonuçlar, yaş ilerledikçe bireylerin psikolojik ve bilgiye dayalı engel algılarının yükseldiğini, ancak sosyal boyutlarda farklılaşmanın daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3.7. Hissedilen Ekonomik Durum Değişkenine Göre Tek Yönlü ANOVA Sonuçları

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
Birey Psikolojisi	Gruplar Arası	71,727	2	35,863	12,581	,000*	,057
	Gruplar İçinde	1177,328	413	2,851			
	Toplam	1249,055	415				
Bilgi Eksikliği	Gruplar Arası	55,727	2	27,863	8,146	,000*	,038
	Gruplar İçinde	1412,617	413	3,420			
	Toplam	1468,344	415				
Tesis	Gruplar Arası	38,534	2	19,267	6,686	,001*	,031
	Gruplar İçinde	1190,194	413	2,882			
	Toplam	1228,728	415				
Arkadaş Eksikliği	Gruplar Arası	1,461	2	,731	,208	,813	,001
	Gruplar İçinde	1452,728	413	3,518			
	Toplam	1454,190	415				
Zaman	Gruplar Arası	36,579	2	18,290	5,637	,004*	,027
	Gruplar İçinde	1340,036	413	3,245			

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
	Toplam	1376,615	415				
	Gruplar Arası	52,480	2	26,240	7,557	,001*	,035
İlgi Eksikliği	Gruplar İçinde	1434,075	413	3,472			
	Toplam	1486,555	415				

*p<,05

Hissedilen ekonomik duruma göre yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları, engel algısının farklı boyutlarda anlamlı biçimde değiştiğini ortaya koymuştur. Birey Psikolojisi boyutunda $F(2, 413) = 12,58$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,057$ değeri elde edilmiş ve bu etki büyüklüğü orta düzeyde bir etkiyi işaret etmiştir. Bilgi Eksikliği ($F(2, 413) = 8,15$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,038$), Tesis ($F(2, 413) = 6,69$, $p = ,001$, $\eta^2 = ,031$), Zaman ($F(2, 413) = 5,64$, $p = ,004$, $\eta^2 = ,027$) ve İlgi Eksikliği ($F(2, 413) = 7,56$, $p = ,001$, $\eta^2 = ,035$) boyutlarında da anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Buna karşılık Arkadaş Eksikliği boyutunda ekonomik duruma göre anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($F(2, 413) = 0,21$, $p = ,813$, $\eta^2 = ,001$). Genel olarak etki büyüklükleri incelendiğinde, Birey Psikolojisi boyutundaki farkın diğer boyutlara kıyasla daha güçlü olduğu, diğer anlamlı farkların ise küçük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3.8. Hissedilen Ekonomik Durum Değişkenine Göre Anlamlı Farklılıklara İlişkin Çoklu Karşılaştırma (Tukey HSD) Sonuçları

Boyut	(I) Grup	(J) Grup	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	p
Birey Psikolojisi	Orta	Yüksek	-,897*	,180	,000*
Bilgi Eksikliği	Düşük	Yüksek	-1,061*	,291	,001*
	Orta	Yüksek	-,593*	,197	,008*
Tesis	Düşük	Yüksek	-,645*	,267	,042*
	Orta	Yüksek	-,627*	,181	,002*
Zaman	Düşük	Orta	-,796*	,273	,011*
	Orta	Yüksek	,472*	,192	,038*
İlgi Eksikliği	Düşük	Yüksek	-1,007*	,293	,002*
	Orta	Yüksek	-,598*	,198	,008*

*p<,05

Tukey HSD testi sonuçlarına göre, Birey Psikolojisi boyutunda yalnızca orta ve yüksek ekonomik düzey grupları arasında anlamlı fark bulunmuş ve yüksek ekonomik düzeye sahip katılımcıların engel algısının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bilgi Eksikliği boyutunda hem düşük-yüksek ($p = ,001$) hem de orta-yüksek ($p = ,008$) grupları arasında anlamlı fark saptanmış, yüksek ekonomik düzey grubunun en yüksek algıya sahip olduğu görülmüştür. Tesis boyutunda da benzer bir örüntü gözlenmiş; düşük-yüksek ($p = ,042$) ve orta-yüksek ($p = ,002$) karşılaştırmaları anlamlı bulunmuş ve yüksek ekonomik düzey grubu en yüksek engel algısına sahip grup olarak öne çıkmıştır. Zaman boyutunda ise farklı bir örüntü ortaya çıkmış; düşük-orta ($p = ,011$) ve orta-yüksek ($p = ,038$) karşılaştırmaları anlamlı bulunmuş ve orta ekonomik

düzyer grubunun en yüksek algıya sahip olduğu belirlenmiştir. İlgi Eksikliği boyutunda düşük-yüksek ($p = ,002$) ve orta-yüksek ($p = ,008$) karşılaştırmaları anlamlı çıkmış, yüksek ekonomik düzey grubu lehine bir farklılaşma gözlenmiştir.

Tablo 3.9. Günlük Boş Zaman Süresi Değişkenine Göre Tek Yönlü ANOVA Sonuçları

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
Birey Psikolojisi	Gruplar Arası	9,225	2	4,612	1,536	,216	,007
	Gruplar İçinde	1239,831	413	3,002			
	Toplam	1249,055	415				
Bilgi Eksikliği	Gruplar Arası	11,683	2	5,841	1,656	,192	,008
	Gruplar İçinde	1456,661	413	3,527			
	Toplam	1468,344	415				
Tesis	Gruplar Arası	3,164	2	1,582	,533	,587	,003
	Gruplar İçinde	1225,564	413	2,967			
	Toplam	1228,728	415				
Arkadaş Eksikliği	Gruplar Arası	130,788	2	65,394	20,408	,000*	,090
	Gruplar İçinde	1323,402	413	3,204			
	Toplam	1454,190	415				
Zaman	Gruplar Arası	67,041	2	33,521	10,571	,000*	,049
	Gruplar İçinde	1309,574	413	3,171			
	Toplam	1376,615	415				
İlgi Eksikliği	Gruplar Arası	31,568	2	15,784	4,480	,012*	,021
	Gruplar İçinde	1454,988	413	3,523			
	Toplam	1486,555	415				

* $p < ,05$

Günlük boş zaman süresine göre yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları, bazı engel algısı boyutlarında anlamlı farklılıklar ortaya koymuştur. Arkadaş Eksikliği boyutunda $F(2, 413) = 20,41$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,090$ değeri elde edilmiş ve bu etki büyüklüğü orta düzeye yakın bir etkiyi işaret etmektedir. Zaman boyutunda $F(2, 413) = 10,57$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,049$ ve İlgi Eksikliği boyutunda $F(2, 413) = 4,48$, $p = ,012$, $\eta^2 = ,021$ değerleri bulunmuş, bu boyutlarda da anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Buna karşılık Birey Psikolojisi ($F(2, 413) = 1,54$, $p = ,216$), Bilgi Eksikliği ($F(2, 413) = 1,66$, $p = ,192$) ve Tesis ($F(2, 413) = ,53$, $p = ,587$) boyutlarında günlük boş zaman süresine göre anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Tablo 3.10. Günlük Boş Zaman Süresi Değişkenine Göre Anlamlı Farklılıklara İlişkin Çoklu Karşılaştırma (Tukey HSD) Sonuçları

Bağımlı Değişken	(I) Grup	(J) Grup	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	p
Arkadaş Eksikliği	1 Saat	2-3 Saat	-1,770*	,285	,000*
		4-7 Saat	-1,508*	,267	,000*
Zaman	1 Saat	2-3 Saat	1,221*	,283	,000*
		4-7 Saat	1,141*	,266	,000*
İlgi Eksikliği	1 Saat	2-3 Saat	,853*	,298	,012*
		4-7 Saat	,766*	,280	,018*

*p<,05

Tukey HSD testi sonuçlarına göre, Arkadaş Eksikliği boyutunda günde yalnızca 1 saat boş zamana sahip olan katılımcıların engel algısı hem 2-3 saat ($p < ,001$) hem de 4-7 saat ($p < ,001$) boş zamana sahip olanlara göre anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur. Zaman boyutunda ise tam tersi bir örüntü gözlenmiştir; 1 saat boş zamana sahip grubun zaman kaynaklı engel algısı diğer iki gruba göre anlamlı düzeyde daha yüksek çıkmıştır (her iki karşılaştırma için $p < ,001$). İlgi Eksikliği boyutunda da benzer bir eğilim saptanmıştır; 1 saat boş zamana sahip grubun engel algısı 2-3 saat ($p = ,012$) ve 4-7 saat ($p = ,018$) gruplarına göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 3.11. Boş Zamanda Yapılan Faaliyet Türü Değişkenine Göre Tek Yönlü ANOVA Sonuçları

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
Birey Psikolojisi	Gruplar Arası	43,463	2	21,732	7,445	,001*	,035
	Gruplar İçinde	1205,592	413	2,919			
	Toplam	1249,055	415				
Bilgi Eksikliği	Gruplar Arası	3,060	2	1,530	,431	,650	,002
	Gruplar İçinde	1465,284	413	3,548			
	Toplam	1468,344	415				
Tesis	Gruplar Arası	5,154	2	2,577	,870	,420	,004
	Gruplar İçinde	1223,574	413	2,963			
	Toplam	1228,728	415				
Arkadaş Eksikliği	Gruplar Arası	63,724	2	31,862	9,464	,000*	,044
	Gruplar İçinde	1390,466	413	3,367			
	Toplam	1454,190	415				
Zaman	Gruplar Arası	154,323	2	77,161	26,072	,000*	,112

Boyut	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	p	η^2
	Gruplar İçinde	1222,293	413	2,960			
	Toplam	1376,615	415				
	Gruplar Arası	122,308	2	61,154	18,513	,000*	,082
İlgi Eksikliği	Gruplar İçinde	1364,247	413	3,303			
	Toplam	1486,555	415				

*p<,05

Katılımcıların boş zamanlarında yöneldikleri faaliyet türüne göre yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları, bazı boyutlarda anlamlı farklılıklar ortaya koymuştur. Birey Psikolojisi boyutunda $F(2, 413) = 7,45$, $p = ,001$, $\eta^2 = ,035$ değeri elde edilmiş ve kültürel faaliyetlere yönelen katılımcıların engel algısının hem sosyal ($p = ,005$) hem de sportif faaliyetlere yönelenlere ($p = ,001$) göre anlamlı düzeyde daha düşük olduğu görülmüştür. Arkadaş Eksikliği boyutunda $F(2, 413) = 9,46$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,044$ bulunmuş; kültürel faaliyet grubunun bu boyuttaki algısı sosyal ($p < ,001$) ve sportif ($p < ,001$) faaliyet gruplarına göre anlamlı düzeyde daha düşük çıkmıştır. Zaman boyutunda en güçlü etki büyüklüğü gözlenmiş ($F(2, 413) = 26,07$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,112$); burada kültürel faaliyetlere yönelen grubun zaman kaynaklı engel algısının sosyal ($p < ,001$) ve sportif ($p < ,001$) faaliyet gruplarına kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde İlgi Eksikliği boyutunda $F(2, 413) = 18,51$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,082$ bulunmuş; kültürel faaliyet grubunun engel algısının sosyal ($p < ,001$) ve sportif ($p < ,001$) gruplara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Buna karşılık Bilgi Eksikliği ($F(2, 413) = ,43$, $p = ,650$) ve Tesis ($F(2, 413) = ,87$, $p = ,420$) boyutlarında faaliyet türüne göre anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Tablo 3.12. Boş Zamanda Yapılan Faaliyet Türü Değişkenine Göre Anlamlı Farklılıklara İlişkin Çoklu Karşılaştırma (Tukey HSD) Sonuçları

Bağımlı Değişken	(I) Grup	(J) Grup	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	p
Birey Psikolojisi	Kültürel Faaliyetler	Sosyal Faaliyetler	-,701*	,223	,005*
		Sportif Faaliyetler	-,849*	,227	,001*
Arkadaş Eksikliği	Kültürel Faaliyetler	Sosyal Faaliyetler	-,924*	,240	,000*
		Sportif Faaliyetler	-,983*	,244	,000*
Zaman	Kültürel Faaliyetler	Sosyal Faaliyetler	1,393*	,225	,000*
		Sportif Faaliyetler	1,562*	,229	,000*

İlgi Eksikliği	Kültürel Faaliyetler	Sosyal Faaliyetler	1,411*	,238	,000*
		Sportif Faaliyetler	1,173*	,241	,000*

*p<,05

Kültürel faaliyetlere yönelen katılımcılar, psikolojik ve sosyal boyutlarda daha düşük engel algısına sahipken; zaman ve ilgi eksikliği boyutlarında ise daha yüksek algı sergilemişlerdir. Sosyal ve sportif faaliyet grupları arasında ise hiçbir boyutta anlamlı bir fark saptanmamış olması, bu iki grubun engel algısı bakımından benzer bir örüntü sergilediğini göstermektedir. Bu bulgular, boş zaman faaliyet türünün özellikle kültürel etkinliklere yönelimde farklı bir algı profili oluşturduğunu, sosyal ve sportif faaliyetlerin ise birbirine yakın bir etki örüntüsü sunduğunu ortaya koymaktadır.

4.TARTIŞMA

Bu araştırmada üniversitede öğrenim gören yabancı uyruklu öğrencilerin boş zaman etkinliklerine katılımlarında algıladıkları engeller cinsiyet, aktif spor yapma durumu, yaş, hissedilen ekonomik durum, günlük boş zaman süresi ve tercih edilen boş zaman faaliyeti açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda değişkenlerin Boş Zaman Engelleri Ölçeği'nin tüm alt boyutlarında aynı biçimde farklılaşmadığı; Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Tesis, Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği boyutlarının farklı değişkenlere göre farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle mevcut araştırmanın sonuçlarının toplam bir “engel düzeyi” üzerinden değil, her alt boyut açısından ayrı ayrı değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir. Cinsiyet değişkenine göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği ve Zaman alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Kadın öğrencilerin Birey Psikolojisi ve Bilgi Eksikliği puanlarının erkeklerden daha yüksek olduğu, buna karşılık erkek öğrencilerin Zaman boyutunda daha yüksek puan aldığı görülmüştür. Tesis, Arkadaş Eksikliği ve İlgi Eksikliği boyutlarında ise cinsiyete göre anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Bu sonuçlar, cinsiyet farklılığının boş zaman engellerinin tüm boyutlarında aynı yönde ortaya çıkmadığını göstermektedir.

Literatürde de cinsiyete ilişkin bulguların ortak bir örüntü sergilemediği görülmektedir. Uluslararası öğrenciler üzerinde gerçekleştirilen Özdemir vd. (2023) çalışmasında cinsiyete göre boş zaman engellerinde anlamlı bir farklılık belirlenmezken, Honça ve Çetinkaya (2017) da kadınların alt boyut ortalamalarının daha yüksek olmasına rağmen cinsiyetler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark saptamamıştır. Buna karşılık Solakumur et al. (2019), Tesis/Hizmet, Zaman ve İlgi Eksikliği boyutları ile toplam puanda cinsiyete bağlı farklılıklar bildirmiştir. Ağılönü vd. (2023) ise Bilgi Eksikliği, Tesis ve İlgi Eksikliği boyutlarında erkeklerin daha yüksek puanlara sahip olduğunu belirlemiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut araştırmanın sonuçları bazı çalışmalarla ayrışırken bazı alt boyutlar açısından literatürde bildirilen farklılaşmalarla benzerlik göstermektedir. Bu nedenle cinsiyete ilişkin bulguların, incelenen engel boyutları ve örneklem özellikleri çerçevesinde değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir.

Aktif spor yapma durumuna göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği ve İlgi Eksikliği alt boyutlarında spor yapan öğrencilerin puanlarının daha yüksek olduğu, Zaman boyutunda ise spor yapmayan öğrencilerin daha yüksek engel algısına sahip olduğu belirlenmiştir. Tesis ve Arkadaş Eksikliği boyutlarında ise gruplar arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Bu sonuçlar, Ağılönü vd. (2023) tarafından bildirilen bulgularla kısmen benzerlik göstermektedir. Söz konusu çalışmada düzenli egzersiz yapan bireylerin Birey Psikolojisi, Arkadaş Eksikliği,

Zaman ve İlgi Eksikliği puanlarının daha düşük olduğu, Bilgi Eksikliği ve Tesis boyutlarında ise anlamlı farklılık bulunmadığı bildirilmiştir. Bu yönüyle mevcut araştırmanın özellikle Birey Psikolojisi ve İlgi Eksikliği bulguları Ağılönü vd. (2023) ile ayrışırken, Zaman boyutunda spor yapmayan grubun daha yüksek puan alması benzerlik göstermektedir.

Uluslararası öğrenciler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar da sportif ve rekreatif katılım yönünden farklı engel durumlarına işaret etmektedir. Özdemir vd. (2023), düzenli bir boş zaman etkinliğine katılmayan uluslararası öğrencilerin daha yüksek boş zaman engeli bildirdiklerini belirtirken, Cho ve Price (2018) uluslararası öğrencilerin rekreatif spor katılımında bireysel ve yapısal engelleri yerel öğrencilere göre daha yüksek algıladıklarını raporlamıştır. Park vd. (2015) ise zaman eksikliğini Asyalı uluslararası öğrencilerin fiziksel aktiviteye katılımında öne çıkan engellerden biri olarak belirlemiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, aktif spor yapma durumuna ilişkin bulguların tüm boş zaman engeli boyutlarında aynı yönde olmadığı; mevcut araştırmanın bazı sonuçlarının önceki çalışmalarla benzerlik gösterirken bazı alt boyutlarda farklılaştığı görülmektedir.

Yaş değişkenine göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Arkadaş Eksikliği ve İlgi Eksikliği alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlenirken, Tesis ve Zaman boyutlarında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Özellikle Birey Psikolojisi boyutunda engel puanlarının yaş grupları ilerledikçe yükseldiği ve 28 yaş ve üzerindeki öğrencilerin en yüksek, 18–23 yaş grubundaki öğrencilerin ise en düşük puana sahip olduğu görülmüştür. Bilgi Eksikliği açısından 18–23 yaş grubunun diğer yaş gruplarından daha düşük puan aldığı; Arkadaş Eksikliği ve İlgi Eksikliği boyutlarında ise farklılıkların belirli yaş grupları arasında ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Uluslararası öğrenciler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, mevcut bulgularla özellikle bireysel engeller açısından benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Cho ve Price (2016), uluslararası üniversite öğrencilerinde bireysel engellerin yaşa göre anlamlı biçimde farklılaştığını ve 31–35 yaş grubunun 20 yaş altındaki öğrencilere göre daha yüksek engel puanına sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Özdemir vd. (2023), uluslararası öğrencilerde yaş ile boş zaman engelleri arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki belirlemiştir. Bu sonuçlar, mevcut araştırmada Birey Psikolojisi puanlarının yaş grupları ilerledikçe yükselmesiyle benzerlik göstermektedir. Buna karşılık Honça ve Çetinkaya (2017) ile Solakumur vd. (2019), üniversite öğrencilerinin boş zaman engellerinde yaşa göre anlamlı bir farklılık saptamamıştır. Ağılönü vd. (2023) ise yaşa bağlı farklılığın yalnızca Zaman alt boyutunda ortaya çıktığını bildirmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, yaş değişkenine ilişkin literatür bulgularının ortak bir yönde olmadığı; mevcut araştırmanın özellikle Birey Psikolojisi boyutundaki sonuçlarının uluslararası öğrenci örneklemelerinde elde edilen bazı bulgularla benzerlik gösterirken, genel üniversite öğrenci örneklemelerindeki bazı araştırmalardan ayrıldığı görülmektedir.

Hissedilen ekonomik duruma göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Tesis, Zaman ve İlgi Eksikliği alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlenirken, Arkadaş Eksikliği boyutunda anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Yüksek ekonomik düzeydeki öğrencilerin Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Tesis ve İlgi Eksikliği puanlarının bazı düşük ve orta ekonomik düzey gruplarından daha yüksek olduğu; Zaman boyutunda ise en yüksek puanın orta ekonomik düzey grubunda bulunduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, ekonomik durum ile boş zaman engelleri arasındaki farklılaşmanın bütün alt boyutlarda aynı yönde gerçekleşmediğini göstermektedir.

Literatürde ekonomik duruma ilişkin sonuçların da ortak bir örüntü sergilemediği görülmektedir. Solakumur vd. (2019), üniversite öğrencilerinin boş zaman engellerinin refah düzeyine göre anlamlı biçimde farklılaşmadığını bildirirken, Ağılönü vd. (2023) de gelir

algısına göre BZEÖ puanlarında anlamlı bir farklılık belirlememiştir. Bu sonuçlar, mevcut araştırmada ekonomik duruma göre birçok alt boyutta saptanan farklılıklardan ayrılmaktadır. Uluslararası öğrenciler üzerinde yapılan çalışmalarda ise ekonomik koşullar daha çok rekreatif katılımı sınırlandıran unsurlardan biri olarak ele alınmıştır. Sun (2011), yüksek etkinlik maliyetlerini Çinli uluslararası öğrencilerin karşılaştıkları yapısal engeller arasında değerlendirirken; Abdullah ve Ayyıldız Durhan (2025) ekonomik kısıtlamaları uluslararası öğrencilerin boş zaman katılımında karşılaştıkları çevresel engellerden biri olarak bildirmiştir. Bununla birlikte söz konusu çalışmalar, ekonomik durumu mevcut araştırmadaki gibi düşük, orta ve yüksek gruplara ayırarak BZEÖ alt boyutlarını karşılaştırmamıştır. Bu nedenle önceki araştırmalar, mevcut çalışmada yüksek ekonomik düzey grubunun bazı alt boyutlarda daha yüksek engel puanlarına sahip olmasını doğrudan açıklayan veya destekleyen bulgular olarak değerlendirilmemelidir. Genel olarak mevcut sonuçlar, hissedilen ekonomik durumun boş zaman engelleriyle ilişkisinin alt boyutlara göre farklılaşabildiğini ve ekonomik durumun tek yönlü bir engel örüntüsü ortaya koymadığını göstermektedir.

Günlük boş zaman süresine göre Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlenirken, Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği ve Tesis boyutlarında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Günlük 1 saat boş zamana sahip öğrencilerin Zaman ve İlgi Eksikliği puanlarının 2–3 saat ve 4–7 saat boş zamana sahip gruplardan daha yüksek olduğu, buna karşılık Arkadaş Eksikliği puanlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, özellikle Zaman boyutunda Ağılönü vd. (2023) tarafından bildirilen bulgularla benzerlik göstermektedir. Söz konusu çalışmada da günlük 1 saat serbest zamana sahip bireylerin Zaman engeli puanlarının daha uzun boş zaman süresine sahip gruplardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İlgi Eksikliği boyutunda elde edilen sonuçların da kısmen benzer bir örüntü gösterdiği görülmektedir.

Uluslararası öğrenciler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar da zaman yetersizliğinin rekreatif katılım açısından dikkate alınan engellerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Qiao (2017), Çinli uluslararası öğrencilerin zaman kaynaklı boş zaman engellerini yerel öğrencilere göre daha yüksek düzeyde algıladıklarını bildirirken, Park vd. (2015) zaman eksikliğini Asyalı uluslararası öğrencilerin fiziksel aktiviteye katılımında öne çıkan engellerden biri olarak belirlemiştir. Günlük boş zaman süresini doğrudan saat grupları üzerinden inceleyen Şahin vd. (2026) ise 0–2 saatlik grubun Zaman engeli puanlarının diğer gruplardan daha yüksek olduğunu, ancak bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut araştırmanın Zaman boyutuna ilişkin bulguları önceki çalışmalarla belirli ölçüde benzerlik göstermekle birlikte, günlük boş zaman süresinin diğer engel boyutlarında aynı yönde bir farklılaşma oluşturmadığı görülmektedir.

Boş zamanda tercih edilen faaliyet türüne göre Birey Psikolojisi, Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği alt boyutlarında anlamlı farklılıklar belirlenirken, Bilgi Eksikliği ve Tesis boyutlarında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Kültürel faaliyetleri tercih eden öğrencilerin Birey Psikolojisi ve Arkadaş Eksikliği puanlarının sosyal ve sportif faaliyetleri tercih edenlerden daha düşük; Zaman ve İlgi Eksikliği puanlarının ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca en yüksek etki büyüklüğünün Zaman boyutunda ortaya çıkması ($\eta^2 = ,112$), faaliyet türüne bağlı farklılaşmanın özellikle bu boyutta belirginleştiğini göstermektedir. Uluslararası öğrenciler üzerinde yapılan çalışmalar, faaliyet tercihleri ile boş zaman engellerinin farklı yönlerden ele alındığını göstermektedir. Abdullah ve Ayyıldız Durhan (2025), uluslararası öğrencilerin fiziksel, kültürel ve sosyal etkinliklere katıldıklarını; bu süreçte ekonomik, ulaşım, dil, motivasyon ve psikolojik güçlüklerle karşılaştıklarını

bildirmiştir. Selvaratnam vd. (2021) ise rekreasyonel katılımı karşılaşılan engellerin faaliyet türüne göre değişebildiğini ortaya koymuştur. Guo ve Ross (2014) da Asyalı uluslararası öğrencilerin rekreatif spor tercihlerinin farklı faaliyet biçimlerine göre çeşitlendiğini belirlemiştir. Bununla birlikte bu araştırmalar, mevcut çalışmadaki kültürel, sosyal ve sportif faaliyet sınıflandırmasını kullanarak BZEÖ alt boyutlarını doğrudan karşılaştırmamıştır. Buna karşılık Ekinci vd. (2014), üniversite öğrencilerinin sportif ve sportif olmayan faaliyet tercihleri açısından boş zaman engellerinde anlamlı bir farklılık belirlememiştir. Bu sonuç, mevcut araştırmada faaliyet türüne göre dört alt boyutta anlamlı farklılık saptanmış olmasıyla ayrılmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, faaliyet tercihiyle ilişkili farklılıkların tüm boş zaman engellerinde aynı yönde ortaya çıkmadığı ve mevcut bulguların, özellikle uluslararası öğrenciler açısından, her alt boyut özelinde değerlendirilmesinin daha uygun olduğu söylenebilir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada yabancı uyruklu üniversite öğrencilerinin boş zaman engellerinin cinsiyet, yaş, hissedilen ekonomik durum, aktif spor yapma durumu, günlük boş zaman süresi ve tercih edilen faaliyet türüne göre bazı alt boyutlarda anlamlı biçimde farklılaştığı belirlenmiştir. Cinsiyete göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği ve Zaman; aktif spor yapma durumuna göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği; yaşa göre Birey Psikolojisi, Bilgi Eksikliği, Arkadaş Eksikliği ve İlgi Eksikliği boyutlarında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Hissedilen ekonomik durumun Arkadaş Eksikliği dışındaki tüm boyutlarda, günlük boş zaman süresinin Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği boyutlarında; faaliyet türünün ise Birey Psikolojisi, Arkadaş Eksikliği, Zaman ve İlgi Eksikliği boyutlarında farklılaşma oluşturduğu görülmüştür. Genel olarak bulgular, yabancı uyruklu öğrencilerin boş zaman engellerinin tek bir değişkene bağlı olmadığını ve engel boyutlarına göre farklı örüntüler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Zaman boyutunun birçok değişkene göre farklılaşması, araştırmada öne çıkan sonuçlardan biridir.

Öneriler

Araştırma sonuçları doğrultusunda üniversitelerde yabancı uyruklu öğrencilere yönelik sosyal, kültürel ve sportif etkinliklerin farklı zaman dilimlerinde ve çeşitlendirilmiş biçimde sunulması önerilebilir. Öğrencilerin üniversitedeki rekreatif olanaklara erişimini kolaylaştırmak amacıyla etkinlikler, tesisler ve katılım koşulları hakkında açık ve gerektiğinde farklı dillerde bilgilendirme yapılabilir. Ayrıca öğrencilerin yaş, ekonomik durum, boş zaman süresi ve faaliyet tercihleri dikkate alınarak ihtiyaçlarının düzenli olarak belirlenmesi, rekreasyon hizmetlerinin planlanmasına katkı sağlayabilir.

Gelecek araştırmalarda farklı üniversite ve şehirlerden daha geniş örneklemelerin kullanılması; uyruk, Türkiye’de bulunma süresi, dil yeterliği, eğitim süresi ve sosyal destek gibi değişkenlerin de incelenmesi önerilmektedir. Bunun yanında nicel bulguların nedenlerini daha ayrıntılı değerlendirebilmek için görüşme ve odak grup gibi nitel yöntemlerden yararlanılabilir.

KAYNAKÇA

Abdullah, A. A. N., & Ayyıldız Durhan, T. (2025). Uluslararası öğrencilerin boş zaman değerlendirme biçimleri. *Uluslararası Güncel Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 153–165.

Acun, A., Avcı, A., & Şahin, S. (2015). Balıkesir Üniversitesi Turizm Fakültesi öğrencilerinin rekreasyonel eğilimleri ve katılım engelleri. *14. Geleneksel Turizm Paneli Bildiriler Kitabı*. Sakarya, Türkiye.

- Ağılönü, A., Mutlu, T. O., Taze, B., & Çetinkaya, A. (2023). Halkın rekreasyonel faaliyetlere katılımını engelleyen faktörlerin incelenmesi: Muğla ili örneği. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 18(1), 250–264. doi:10.33459/cbubesbd.1241238
- Alexandris, K., & Carroll, B. (1997). Demographic differences in the perception of constraints on recreational sport participation: Results from a study in Greece. *Leisure Studies*, 16(2), 107–125. doi:10.1080/026143697375449
- Aydoğdu, A., Dağıstan, M. T., & Karaçor, B. (2018). Üniversite öğrencilerini sportif rekreasyonel faaliyetlerden alıkoyan etmenler üzerine bir örnek olay incelemesi. *Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, 4(11), 410–422. doi:10.31576/smryj.81
- Ayhan, C., Ekinci, N. E., Yalçın, İ., & Yiğit, Ş. (2018). Investigation of constraints that occur during participation in leisure activities by high school students: A sample of Turkey. *Education Sciences*, 8(2), Article 86. doi:10.3390/educsci8020086
- Aytaç, Ö. (2006). Tüketimcilik ve metalaşma kısıcında boş zaman. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (11), 27–53.
- Bakır, M. (1990). *Rekreasyon ve turizm ilişkisinin turizm politikalarının oluşturulmasındaki önemi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Cho, D., & Price, T. (2016). Examining the leisure constraints affecting international collegiate students' participation in intramural sport programs. *International Journal of Sport Management, Recreation & Tourism*, 24, 22–41. doi:10.5199/ijsmart-1791-874X-24b
- Cho, D., & Price, T. (2018). Leisure constraints to participation in competitive activities and intramural sports: Comparing international and domestic students. *Journal of International Students*, 8(2), 884–900. doi:10.32674/jis.v8i2.119
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cordes, K. A., & Ibrahim, H. M. (2003). *Applications in recreation & leisure: For today and the future* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Crawford, D. W., Jackson, E. L., & Godbey, G. (1991). A hierarchical model of leisure constraints. *Leisure Sciences*, 13(4), 309–320. doi:10.1080/01490409109513147
- Demirel, M., & Harmandar, D. (2009). Üniversite öğrencilerinin rekreasyonel etkinliklere katılımlarında engel oluşturabilecek faktörlerin belirlenmesi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 6(1), 838–846.
- Ekinci, N. E., Kalkavan, A., Üstün, Ü. D., & Gündüz, B. (2014). Investigation of factors that may constrain participation of sportive and nonsportive recreational activities among university students. *Sportif Bakış: Spor ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1–13.
- George, D., & Mallery, P. (2010). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 17.0 update* (10th ed.). Allyn & Bacon.
- Guo, Q., & Ross, C. M. (2014). An exploratory study of Asian international students' campus recreational sports participation. *Recreational Sports Journal*, 38(1), 55–68. doi:10.1123/rsj.2013-0007
- Gül, T. (2014). Rekreasyon olgusuna genel yaklaşım. In A. Yaylı (Ed.), *Rekreasyona giriş* (pp. 2–62). Detay Yayıncılık.
- Gürbüz, B., & Karaküçük, S. (2007). Boş zaman engelleri ölçeği-28: Ölçek geliştirme, geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 12(1), 3–10.
- Gürbüz, B., Öncü, E., & Emir, E. (2020). Boş zaman engelleri ölçeği: Kısa formunun yapı geçerliğinin test edilmesi. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 120–131. doi:10.17155/omuspd.602660

- Has, F. (2016). *Sağlık sektöründe çalışanların boş zamanlarında rekreasyon etkinliklerine katılımlarının önündeki engellerin belirlenmesi (Osmaniye ili örneği)* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Gaziantep Üniversitesi.
- Hashim, H. A. (2012). Perceived barriers to recreation sport participation in university students: A comparison between international and local students in the United States. *Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities*, 20(1), 197–203.
- Honça, A. A., & Çetinkaya, T. (2017). Perception of participation constraints to recreational activities: A case of university students. *International Journal of Recreation and Sports Science*, 1(1), 30–37.
- Jackson, E. L., Crawford, D. W., & Godbey, G. (1993). Negotiation of leisure constraints. *Leisure Sciences*, 15(1), 1–11. doi:10.1080/01490409309513182
- Jackson, E. L., & Henderson, K. A. (1995). Gender-based analysis of leisure constraints. *Leisure Sciences*, 17(1), 31–51. doi:10.1080/01490409509513241
- Jenkins, J. M., & Pigram, J. J. (Eds.). (2003). *Encyclopedia of leisure and outdoor recreation*. Routledge.
- Kadıoğlu, F. K., & Özer, Ö. K. (Eds.). (2015). *Yükseköğretimin uluslararasılaşması çerçevesinde Türk üniversitelerinin uluslararası öğrenciler için çekim merkezi haline getirilmesi: Araştırma projesi raporu* (Yayın No. 2936). T.C. Kalkınma Bakanlığı, Kalkınma Araştırmaları Merkezi.
- Karaküçük, S. ve Gürbüz, B. (2006, November). The Reliability and validity of the Turkish version of "Leisure Constraints Questionnaire". 9th International Sport Sciences Congress, Muğla
- Karasar, N. (2020). *Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Köybaşı, N. (2006). *Boş zaman sosyolojisi ve boş zamanları değerlendirme aracı olarak dinlence turizmi ve kültür turizmine katılan yerli turistlerin karşılaştırmalı sosyolojik analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Anadolu Üniversitesi.
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for *t*-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 863. doi:10.3389/fpsyg.2013.00863
- Lapa, T. Y., & Ardahan, F. (2009). Akdeniz Üniversitesi öğrencilerinin serbest zaman etkinliklerine katılım nedenleri ve değerlendirme biçimleri. *Spor Bilimleri Dergisi*, 20(4), 132–144.
- Osmanlı, Ü. (2018). Uluslararası öğrencilerin adaptasyonuna yönelik bir araştırma: LAÜ örneği. *LAÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 49–74.
- Özdemir, A. S., Orhan, B. E., Karaçam, A., Malka, A., Buhociu, D. H., & Iconomescu, T. M. (2023). Tourist nomads, leisure constraints, and social cohesion: A study on international students living in Istanbul. *Sustainability*, 15(9), 7533. doi:10.3390/su15097533
- Park, Y., Yoh, T., & Park, M. (2015). Testing a leisure constraints model in the context of Asian international students. *International Journal of Sport Management, Recreation & Tourism*, 20, 58–83. doi:10.5199/ijsmart-1791-874X-20d
- Qiao, G.-H. (2017). Comparison of Chinese and Korean students understanding their constraints on participation of leisure activities context of environmental education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7), 4281–4290. doi:10.12973/eurasia.2017.00811a

- Selvaratnam, V., Snelgrove, R., Wood, L., & Potwarka, L. R. (2021). How constraints to campus recreation participation differ based on activity type, gender, and citizenship. *Recreational Sports Journal*, 45(1), 61–68. doi:10.1177/1558866121995165
- Shifman, R., Moss, K., D'Andrade, G., Eichel, J., & Forrester, S. (2012). A comparison of constraints to participation in intramural sports between international and noninternational students. *Recreational Sports Journal*, 36(1), 2–12. doi:10.1123/rsj.36.1.2
- Shores, K. A., & West, S. T. (2010). Rural and urban park visits and park-based physical activity. *Preventive Medicine*, 50(Suppl. 1), S13–S17. doi:10.1016/j.ypmed.2009.07.023
- Solakumur, A., Özen, G., Yıldız, N. O., & Ünlü, Y. (2019). Üniversite öğrencilerinin boş zaman engellerinin incelenmesi (Bartın ili örneği). *Türkiye Spor Bilimleri Dergisi*, 3(1), 33–41. doi:10.32706/tusbid.556262
- Sun, M. (2011). *Leisure experience of Chinese international students* [Master's thesis, University of Manitoba].
- Şahin, E., Means, W. T., & Bayram, A. (2026). The relationship between campus recreation constraints and recreation anxiety among university students. *Eurasian Journal of Sport Sciences and Education*, 8(1), 49–59. doi:10.47778/ejsse.118
- Yılmaz, D. V. (2018). Yurtdışında eğitim: Bir Türk üniversitesinde uluslararası öğrenci deneyimleri. *Yükseköğretim Dergisi*, 8(1), 23–32. doi:10.2399/yod.17.027
- Young, S. J., Ross, C. M., & Barcelona, R. J. (2003). Perceived constraints by college students to participation in campus recreational sports programs. *Recreational Sports Journal*, 27(2), 47–62. doi:10.1123/rsj.27.2.47

CLINICAL AND LABORATORY CHARACTERISTICS AND TOLERANCE DEVELOPMENT IN INFANTS WITH COW'S MILK PROTEIN-INDUCED ALLERGIC PROCTOCOLITIS: A SINGLE-CENTER EXPERIENCE

Uzm. Dr. Özgen Soyöz

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Çiğli Eğitim Araştırma Hastanesi, Çocuk İmmünolojisi ve Alerji Kliniği, İzmir

ORCID ID: 0000-0002-4540-352X

Uzm. Dr. Özge Kangallı Boyacıoğlu

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Çiğli Eğitim Araştırma Hastanesi, Çocuk İmmünolojisi ve Alerji Kliniği, İzmir

ORCID ID: 0000-0003-3393-489X

ABSTRACT

Objective: To describe the clinical and laboratory characteristics and the course of tolerance development in infants diagnosed with cow's milk protein-induced food protein-induced allergic proctocolitis (FPIAP), and to examine whether any variable available at the time of diagnosis predicts the age at which tolerance is acquired.

Materials and Methods: The records of consecutive infants who presented with rectal bleeding and were diagnosed with FPIAP at the Pediatric Allergy and Immunology outpatient clinic of İzmir Bakırçay University Çiğli Training and Research Hospital between January 2024 and June 2026 were reviewed retrospectively. Forty-four infants whose culprit food was cow's milk and whose complete blood count parameters at diagnosis were fully documented were included. Variables that did not follow a normal distribution are presented as median (Q1–Q3); groups were compared with the Mann–Whitney U test, categorical variables with Fisher's exact test, and associations were examined with Spearman's correlation coefficient.

Results: Twenty-three infants (52.3%) were girls. The median age at symptom onset was 3 months (Q1–Q3: 2.0–4.2) and the median age at diagnosis 4 months (Q1–Q3: 2.8–5.0); symptoms had begun within the first six months in 95.5% of infants and 75.0% were diagnosed within one month of onset. Every infant was receiving breast milk when symptoms appeared, 70.5% of them exclusively. Atopic disease accompanied the presentation in 18 infants (40.9%) and 36.4% had a family history of atopy. Of the 29 infants who underwent skin prick testing, only one (3.4%) had a positive result, and that sensitization was not to cow's milk. The elimination diet was applied to the mother alone in 29 infants (65.9%), and a complete response was obtained in 29 (65.9%). The median age at tolerance was 12 months (Q1–Q3: 8.8–16.5); tolerance was acquired within 12 months in 59.1% of infants and by 24 months in 97.7%. Tolerance developed later in infants with a family history of atopy (14.5 vs 12.0 months; $p=0.032$), whereas no other variable was related to the age at tolerance.

Conclusion: FPIAP appeared in early infancy, IgE sensitization to cow's milk was demonstrated in none of the infants, and the disease followed a benign course. None of the laboratory findings obtainable at diagnosis predicted the timing of tolerance. The association between familial atopy and later tolerance was the only significant result among multiple comparisons and requires confirmation.

Keywords: Allergic proctocolitis, cow's milk allergy, rectal bleeding, infant, tolerance

İNEK SÜTÜ PROTEİNİNE BAĞLI ALERJİK PROKTOKOLİTLİ SÜT ÇOCUKLARININ KLİNİK VE LABORATUVAR ÖZELLİKLERİ İLE TOLERANS GELİŞİMİ: TEK MERKEZ DENEYİMİ

ÖZET

Amaç: İnek sütü proteinine bağlı besin proteini ilişkili alerjik proktokolit (BPİAP) tanısı alan süt çocuklarının klinik ve laboratuvar özellikleri ile tolerans gelişim sürecini tanımlamak ve tanı anında elde edilebilen değişkenlerden herhangi birinin tolerans gelişme yaşını öngörüp öngörmediğini incelemek.

Gereç ve Yöntemler: Ocak 2024 – Haziran 2026 tarihleri arasında İzmir Bakırçay Üniversitesi Çiğli Eğitim Araştırma Hastanesi Çocuk Alerji ve İmmünoloji Polikliniği'ne kanlı dışkılama ile başvuran ve BPİAP tanısı alan ardışık olguların kayıtları geriye dönük olarak incelendi. Sorumlu besini inek sütü olan ve tanı anındaki tam kan sayımı parametrelerinin tamamı kayıtlı bulunan 44 süt çocuğu çalışmaya alındı. Normal dağılım göstermeyen değişkenler medyan (Ç1–Ç3) olarak sunuldu; gruplar Mann–Whitney U testi, kategorik değişkenler Fisher kesin testi ile karşılaştırıldı, ilişkiler Spearman korelasyon katsayısı ile incelendi.

Bulgular: Olguların 23'ü (%52,3) kızdı. Semptom başlangıç yaşı medyan 3 ay (Ç1–Ç3: 2,0–4,2), tanı yaşı medyan 4 ay (Ç1–Ç3: 2,8–5,0) idi; olguların %95,5'inde semptomlar ilk altı ay içinde başlamış ve %75,0'i başlangıçtan sonraki bir ay içinde tanı almıştı. Semptomlar ortaya çıktığında olguların tamamı anne sütü alıyordu; %70,5'i yalnızca anne sütü ile besleniyordu. On sekiz olguda (%40,9) tabloya atopik hastalık eşlik ediyordu ve %36,4'ünde ailede atopi öyküsü vardı. Deri prik testi uygulanan 29 olgunun yalnızca birinde (%3,4) pozitiflik saptandı ve bu duyarlanma inek sütüne karşı değildi. Eliminasyon diyeti 29 olguda (%65,9) yalnızca anneye uygulandı; 29 olguda (%65,9) tam yanıt alındı. Tolerans gelişme yaşı medyan 12 ay (Ç1–Ç3: 8,8–16,5) olup olguların %59,1'inde 12 ay içinde, %97,7'sinde 24 ayın sonunda tolerans gelişti. Ailesinde atopi öyküsü bulunanlarda tolerans daha geç gelişti (14,5 ay ve 12,0 ay; $p=0,032$); diğer değişkenlerin hiçbirisi tolerans gelişme yaşı ile ilişkili bulunmadı.

Sonuç: BPİAP erken süt çocukluğunda ortaya çıkmış, olguların hiçbirinde inek sütüne karşı IgE duyarlanması gösterilememiş ve hastalık iyi huylu seyretmiştir. Tanı anında elde edilebilen laboratuvar bulgularının hiçbirisi tolerans zamanlamasını öngörmemiştir. Ailesel atopi ile daha geç tolerans arasındaki ilişki, çoklu karşılaştırma içinde anlamlı çıkan tek sonuç olup doğrulanmaya gereksinim duymaktadır.

Anahtar kelimeler: Alerjik proktokolit, inek sütü alerjisi, kanlı dışkılama, süt çocuğu, tolerans

1. INTRODUCTION

Food allergies are classified as IgE-mediated, non-IgE-mediated or mixed according to the underlying immunological mechanism (Zhang et al., 2021). Most non-IgE-mediated food allergies involve the gastrointestinal tract, and food protein-induced allergic proctocolitis (FPIAP) is the most frequent condition within this group (Kaya et al., 2015; Labrosse et al., 2020). FPIAP is characterized by rectal bleeding in otherwise healthy, predominantly breastfed infants; symptoms usually appear during the first six months of life, the infant remains well and growth is not affected (Martin et al., 2020; Senocak et al., 2022). The food most often responsible is cow's milk protein transferred through breast milk (Kont Özhan et al., 2023; Koksall et al., 2018).

No laboratory test establishes the diagnosis of FPIAP, and both skin prick testing (SPT) and measurement of food-specific IgE have low sensitivity (Meyer et al., 2020). Endoscopic findings are not specific to the disease and endoscopy is invasive in this age group, so it is not

recommended routinely (Labrosse et al., 2020; Mennini et al., 2020). The diagnosis rests on the regression of bleeding after the suspected food is withdrawn from the diet and the recurrence of symptoms when it is reintroduced (Meyer et al., 2020; Nowak-Węgrzyn et al., 2015). Treatment is based on elimination of the culprit food; where breast milk is insufficient, an extensively hydrolyzed formula is recommended first and an amino acid-based formula if no response is obtained (Labrosse et al., 2020; Meyer et al., 2020).

The prognosis is favorable and most infants acquire tolerance within the first one to three years of life (Caubet et al., 2017; Erdem et al., 2017). The time to tolerance nevertheless varies considerably from infant to infant, which leaves clinicians uncertain about how long the elimination diet should be continued and when an oral food challenge should be performed. Studies of the factors that predict tolerance have examined IgE sensitization, eosinophilia and the age at symptom onset, but their results remain contradictory (Buyuktiryaki et al., 2020; Erdem et al., 2017). The present study was undertaken to describe the clinical and laboratory characteristics and the course of tolerance development in infants diagnosed with cow's milk protein-induced FPIAP in our clinic, and to determine whether any of the variables obtained at diagnosis predicts the age at which tolerance is acquired.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study design and case selection

The files of consecutive infants who presented with rectal bleeding and were diagnosed with FPIAP at the Pediatric Allergy and Immunology outpatient clinic of İzmir Bakırçay University Çiğli Training and Research Hospital between January 2024 and June 2026 were reviewed retrospectively. Infants with an infection causing bloody diarrhea, anal fissure, perianal dermatitis, intussusception, a coagulation disorder, necrotizing enterocolitis, inflammatory bowel disease, vitamin K deficiency or immunodeficiency were excluded, as were those whose diagnosis was not confirmed on re-exposure and those with incomplete file data. Among the remaining infants, the 44 whose culprit food was cow's milk and whose complete blood count parameters at diagnosis were fully recorded were included; infants in whom a food other than cow's milk was responsible were left out of the analysis in order to preserve the homogeneity of the group.

2.2. Data, diagnostic criteria and definitions

Demographic characteristics, age at symptom onset and at diagnosis, presenting findings, mode of feeding at symptom onset, concomitant and familial atopic disease, complete blood count results, SPT and food-specific IgE results, the elimination diet applied, the response obtained to that diet, the setting in which the food was reintroduced and the age at tolerance were recorded from the follow-up files. Diagnostic delay was calculated as the difference between the age at diagnosis and the age at symptom onset, and the duration of the elimination diet as the difference between the age at tolerance and the age at diagnosis. The absolute eosinophil count was obtained by multiplying the leukocyte count by the eosinophil percentage. FPIAP was diagnosed in infants with compatible clinical findings when symptoms regressed after the suspected food was withdrawn from the diet and recurred on re-exposure (Meyer et al., 2020; Nowak-Węgrzyn et al., 2015). Complete disappearance of the findings after elimination was defined as a complete response and their persistence in reduced form as a partial response. Tolerance was accepted as the absence of recurrent symptoms after the culprit food was given again. On SPT, which was performed when clinically indicated, an induration diameter ≥ 3 mm greater than that of the negative control was accepted as positive. Anemia was defined as a

hemoglobin concentration below 10.5 g/dL, thrombocytosis as a platelet count above 450,000/mm³ and eosinophilia as an absolute eosinophil count above 500/mm³.

2.3. Statistical analysis

Data were analyzed with SPSS 26. Conformity to a normal distribution was assessed with the Shapiro–Wilk test; variables that were not normally distributed are presented as median (25th–75th percentile) and categorical variables as number and percentage. Two independent groups were compared with the Mann–Whitney U test, categorical variables with the chi-square or Fisher’s exact test, and relationships between continuous variables with Spearman’s correlation coefficient; $p < 0.05$ was accepted as significant. Because ten comparisons were made for the age at tolerance, borderline significant results were interpreted with the effect of multiple comparisons in mind.

3. RESULTS

Forty-four infants were included; 23 (52.3%) were girls and 21 (47.7%) were boys. The median age at symptom onset was 3 months (Q1–Q3: 2.0–4.2) and the median age at diagnosis 4 months (Q1–Q3: 2.8–5.0). Symptoms had started within the first six months in 42 infants (95.5%) and within the first month in 9 (20.5%). The median diagnostic delay was 0 months: 23 infants (52.3%) were diagnosed in the same month in which symptoms began and 33 (75.0%) within one month. All infants were receiving breast milk when symptoms appeared, and 31 (70.5%) were fed with breast milk alone. The presenting finding was a small amount of blood streaking the stool in 43 infants (97.7%). Atopic disease accompanied the presentation in 18 infants (40.9%), most frequently atopic dermatitis ($n=15$, 34.1%). A family history of atopic disease was present in 36.4% ($n=16$) (Table 1).

Table 1. Demographic and clinical characteristics of the infants ($n=44$)

Characteristic	n (%) or median (Q1–Q3)
Female sex	23 (52.3)
Age at symptom onset, months	3.0 (2.0–4.2); min–max 1–7
Age at diagnosis, months	4.0 (2.8–5.0); min–max 1–9
Symptom onset ≤ 6 months	42 (95.5)
Age at diagnosis ≤ 6 months	41 (93.2)
Mode of feeding at symptom onset	
Breast milk only	31 (70.5)
Breast milk + formula	9 (20.5)
After introduction of complementary feeding	4 (9.1)
Small amounts of blood streaking the stool	43 (97.7)
Culprit food: cow’s milk	44 (100.0)
Concomitant atopic disease at diagnosis	18 (40.9)
Atopic dermatitis	15 (34.1)
Family history of atopic disease	16 (36.4)

Complete blood count results were largely within normal limits: median hemoglobin was 11.4 g/dL, leukocyte count 9,100/mm³, platelet count 372,000/mm³ and absolute eosinophil count 328/mm³. Anemia was found in 9 infants (20.5%), thrombocytosis in 11 (25.0%) and

eosinophilia in 7 (15.9%). SPT was performed in 29 infants (65.9%) when clinically indicated; a positive result was obtained in only one (3.4%) and that sensitization was to fish. IgE sensitization to cow's milk was demonstrated in none of the infants.

The response to the diet was complete in 29 infants (65.9%) and partial in 15 (34.1%); among those with a partial response, 12 (27.3%) were changed to an extensively hydrolyzed formula and 3 (6.8%) to an amino acid-based formula. The food was reintroduced at home in 40 infants (90.9%) and by hospital oral food challenge in 4 (9.1%), and no infant experienced a recurrence of symptoms. Tolerance developed in every infant during follow-up; the median age at tolerance was 12 months (Q1–Q3: 8.8–16.5) and the median duration of the elimination diet 8 months (Q1–Q3: 4.8–13.5). Tolerance was acquired within the first 12 months in 26 infants (59.1%), between 13 and 24 months in 17 (38.6%) and after 24 months in one (2.3%); the cumulative rate of tolerance at the end of 24 months was 97.7% (Table 2, Figure 1).

Table 2. Treatment and follow-up findings (n=44)

Characteristic	n (%) or median (Q1–Q3)
Complete response to the elimination diet	29 (65.9)
Partial response to the elimination diet	15 (34.1)
Food reintroduced at home	40 (90.9)
Hospital oral food challenge	4 (9.1)
Age at tolerance, months	12 (8.8–16.5); min–max 4–30
Duration of the elimination diet, months	8 (4.8–13.5); min–max 1–25
Tolerance $\leq$ 12 months	26 (59.1)
Tolerance 13–24 months	17 (38.6)
Tolerance >24 months	1 (2.3)

Figure 1. Cumulative development of tolerance (n=44)

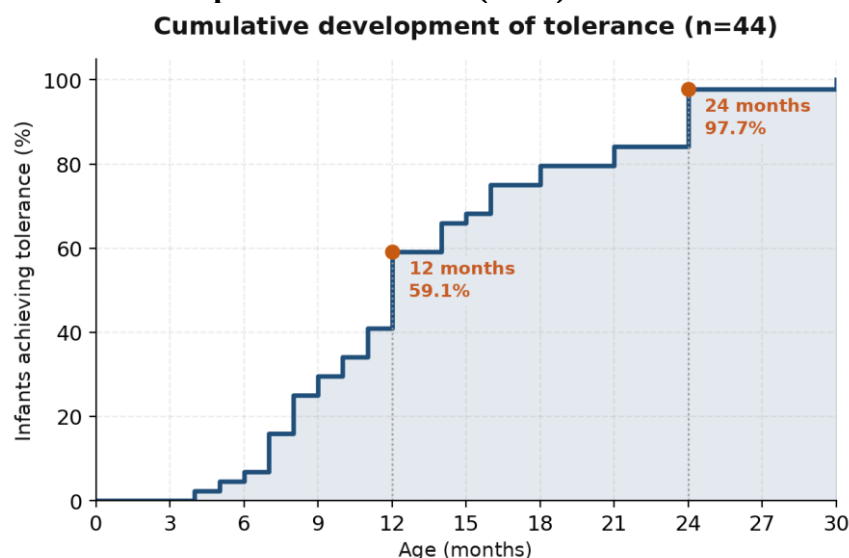


Figure 1. Tolerance had developed in 59.1% of the infants by the end of the 12th month and in 97.7% by the end of the 24th month.

Tolerance developed later in infants with a family history of atopic disease (median 14.5 vs 12.0 months; $p=0.032$), and the proportion acquiring tolerance within the first 12 months was also lower in this group (37.5% vs 71.4%). Tolerance was numerically later in infants with a partial response to the elimination diet, but the difference did not reach significance (14.0 vs 11.0 months; $p=0.088$). No relationship was found between the age at tolerance and sex, concomitant atopic disease, mode of feeding or the presence of eosinophilia. Age at symptom onset, age at diagnosis, absolute eosinophil count and platelet count showed no significant correlation with the age at tolerance (Table 3, Figure 2).

Table 3. Factors examined in relation to the age at tolerance (n=44)

Variable	Age at tolerance, median (months)	p
Family history of atopic disease (present / absent)	14.5 / 12.0	0.032
Response to the elimination diet (complete / partial)	11.0 / 14.0	0.088
Atopic disease at diagnosis (present / absent)	13.0 / 11.5	0.175
Sex (girl / boy)	12.0 / 12.0	0.547
Feeding at symptom onset (breast milk only / other)	12.0 / 12.0	0.948
Eosinophilia $>500/\text{mm}^3$ (present / absent)	12.0 / 12.0	0.551
Age at symptom onset (Spearman rho = +0.10)	—	0.536
Age at diagnosis (Spearman rho = +0.10)	—	0.538
Absolute eosinophil count (Spearman rho = -0.21)	—	0.181
Platelet count (Spearman rho = -0.15)	—	0.344

Figure 2. Age at tolerance by subgroup (n=44)

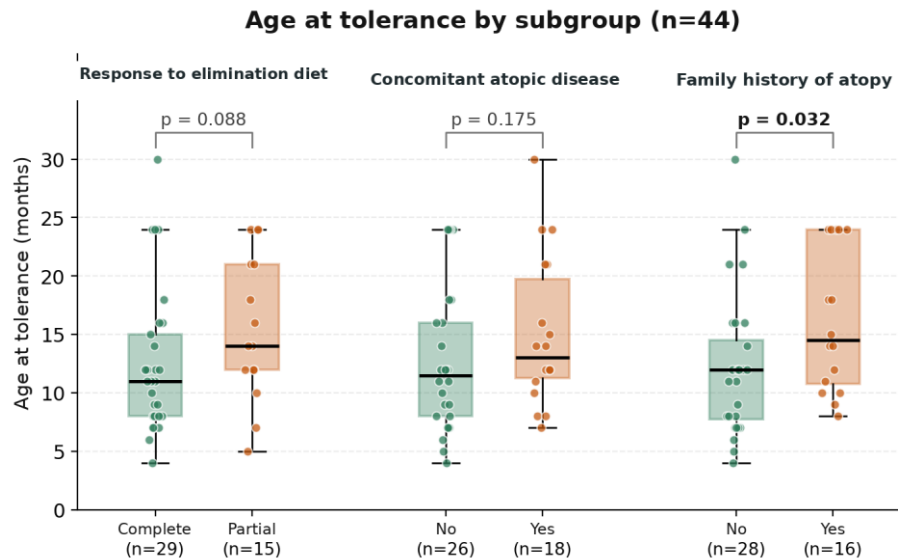


Figure 2. The age at tolerance was significantly later only in infants with a family history of atopy ($p=0.032$). Boxes show the interquartile range and the central line the median.

4. DISCUSSION

This study evaluated 44 infants diagnosed with cow's milk protein-induced FPIAP. In our series the disease appeared in early infancy, followed a benign course and every infant acquired tolerance during follow-up. Symptoms began within the first six months in 95.5% of our infants, a proportion consistent with the literature (Martin et al., 2020; Nowak-Węgrzyn et al., 2015; Senocak et al., 2022). Kont Özhan et al. (2023) reported a median age at symptom onset of three months and a median age at diagnosis of four months in their series of 48 infants; we obtained the same values. One striking finding was that three quarters of our infants were diagnosed within one month of symptom onset, which may be explained by the alarming nature of rectal bleeding for families and the prompt medical attention it prompts.

All of our infants were receiving breast milk when symptoms appeared and 70.5% were fed with breast milk alone. Rates of breastfeeding at the onset of complaints have been reported between 49% and 100% in various studies (Lucarelli et al., 2011; Nowak-Węgrzyn et al., 2015; Senocak et al., 2022); our findings lie close to the upper end of this range and may reflect the high rates of breastfeeding in our population. By design, the culprit food was cow's milk protein in all infants; cow's milk is reported in the literature as the most frequent culprit, with rates ranging from 50% to 96%, followed by egg (Koksal et al., 2018; Kont Özhan et al., 2023; Uncuoğlu et al., 2022).

The true frequency of FPIAP varies widely with the diagnostic criteria used. In a population-based study in which 13,019 children were followed from birth in Israel, Elizur et al. (2012) reported a prevalence of 0.16% for isolated rectal bleeding attributed to cow's milk consumption. Martin et al. (2020), by contrast, followed 903 healthy newborns prospectively in the United States and found a cumulative incidence of 17% for FPIAP diagnosed clinically by community pediatricians without an oral food challenge; visible bleeding was present in only 7% of these infants. This marked discrepancy depends on whether the diagnosis is confirmed and suggests that the disease may be overdiagnosed. Consistent with this, Xanthakos et al. (2005) performed sigmoidoscopy in 22 infants with rectal bleeding and confirmed allergic

colitis histologically in only 64%, showing that in infants with normal biopsies the bleeding resolved without any dietary change. Although the diagnosis in our series was based in every infant on the response to elimination and the recurrence of symptoms on re-exposure, the possibility of overdiagnosis cannot be excluded entirely.

Atopic disease accompanied the presentation in 40.9% of our infants, most often atopic dermatitis; the presence of atopic dermatitis has been described as a risk factor for the development of FPIAP (Martin et al., 2020). The frequency of atopic disease at diagnosis is reported across a wide range in the literature, and this variability is thought to depend on whether the infants were selected from a group already being followed for atopic disease or from one presenting directly with rectal bleeding (Koksall et al., 2018; Kont Özhan et al., 2023). The frequency of familial atopy in our series (36.4%) lies within the range reported for infants with food allergy.

Because FPIAP is not an IgE-mediated disease, food-specific IgE positivity is not an expected finding; IgE sensitization is reported at 10–30% in the literature (Meyer et al., 2020). Of the 29 infants who underwent SPT in our series, only one had a positive result, and that sensitization was not to cow's milk. The complete absence of sensitization to cow's milk falls below the rates in the literature, and this may be related to our series consisting of clinically homogeneous infants with a single culprit food and to SPT having been performed only when clinically indicated rather than in all infants. Our finding supports the view that SPT cannot be used as a diagnostic tool on its own in non-IgE-mediated food allergy. Our laboratory findings were also largely normal, in keeping with the literature; our frequency of eosinophilia (15.9%) is somewhat lower than the rates reported from Türkiye (Kont Özhan et al., 2023; Senocak et al., 2022).

A maternal elimination diet was sufficient in two thirds of our infants, while a therapeutic formula had to be added in one third, an approach consistent with the stepwise strategy recommended in the guidelines (Labrosse et al., 2020; Meyer et al., 2020). The median age at tolerance in our series was 12 months, with tolerance acquired within the first year in 59.1% of infants and by the end of the second year in 97.7%. These values agree with the literature: Kont Özhan et al. (2023) reported a median age at tolerance of 12 months, and Kaya et al. (2015), in a series of 60 infants diagnosed by oral food challenge, showed that 53.3% acquired tolerance within the first year and 78.3% cumulatively by the end of the second year, while Erdem et al. (2017) reported tolerance rates of 40% in the first year and 67% in the first two years. When Elizur et al. (2012) gave cow's milk again to infants whose symptoms had resolved, 11 of 14 (78.5%) tolerated the food without difficulty, and the authors recommended confirming the diagnosis by early re-exposure in order to avoid unnecessarily prolonged elimination diets. The absence of any recurrence in our infants after the food was reintroduced supports that recommendation.

The central question of our study was whether any of the variables obtainable at diagnosis predicts the age at tolerance. Neither sex, concomitant atopic disease, age at symptom onset, age at diagnosis, mode of feeding, the response obtained to the elimination diet, eosinophilia, absolute eosinophil count nor platelet count showed a significant relationship with the age at tolerance. This result is consistent with studies from Türkiye: Kont Özhan et al. (2023) found no relationship between the time to tolerance and SPT positivity, food-specific IgE positivity, total IgE level or eosinophilia, and Erdem et al. (2017) likewise found no difference in eosinophilia or total IgE between groups with early and late tolerance. Buyuktiryaki et al. (2020), on the other hand, reported in their multicenter study that IgE sensitization was a risk

factor for a persistent course and late tolerance; since IgE sensitization was almost entirely absent from our series, we were unable to evaluate that association.

Our finding that tolerance developed later in infants with a family history of atopic disease is plausible in that an atopic background might influence the course of FPIAP. Martin et al. (2020) reported a history of food allergy in a first-degree relative (odds ratio 1.9) and the presence of eczema (odds ratio 1.5) as risk factors for the development of FPIAP. The outcome in that study, however, was the appearance of the disease, whereas ours was the timing of tolerance; the two findings therefore do not confirm one another directly, and this observation needs to be tested in larger prospective series.

The most important limitation of our study is its retrospective design, which meant that standard time intervals could not be applied to the assessment of diagnosis and tolerance. Our limited number of infants reduces the power to detect small effect sizes, and restricting the culprit food to cow's milk prevents the results from being generalized to infants with multiple food allergies. Set against this, the diagnosis was established with the same criteria in every infant, the laboratory data were complete and tolerance was assessed in all infants, which are strengths of the study.

5. CONCLUSION

Cow's milk protein-induced FPIAP is a benign disease that appears early in infancy and in which IgE sensitization is rare. Every infant in our series acquired tolerance, approximately 60% within the first year of life and 98% by the end of the second year. None of the clinical or laboratory variables obtained at diagnosis predicted the timing of tolerance. These findings support avoiding additional investigations and invasive procedures in infants with FPIAP, informing families accurately and optimistically from the outset, and reintroducing the eliminated food in a planned manner.

REFERENCES

- Buyuktiryaki, B., Kulhas Celik, I., Erdem, S. B., Capanoglu, M., Civelek, E., Guc, B. U., Guvenir, H., Buyuktiryaki, M., Berber, M., Karaatmaca, B., Toyran, M., Misirlioglu, E. D., Can, D., Kocabas, C. N., & Sekerel, B. E. (2020). Risk factors influencing tolerance and clinical features of food protein-induced allergic proctocolitis. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 70(5), 574–579. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000002629>
- Caubet, J. C., Szajewska, H., Shamir, R., & Nowak-Węgrzyn, A. (2017). Non-IgE-mediated gastrointestinal food allergies in children. *Pediatric Allergy and Immunology*, 28(1), 6–17. <https://doi.org/10.1111/pai.12659>
- Elizur, A., Cohen, M., Goldberg, M. R., Rajuan, N., Cohen, A., Leshno, M., & Katz, Y. (2012). Cow's milk associated rectal bleeding: A population based prospective study. *Pediatric Allergy and Immunology*, 23(8), 766–770. <https://doi.org/10.1111/pai.12009>
- Erdem, S. B., Nacaroglu, H. T., Karaman, S., Erdur, C. B., Karkiner, C. U., & Can, D. (2017). Tolerance development in food protein-induced allergic proctocolitis: Single centre experience. *Allergologia et Immunopathologia*, 45(3), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2016.10.005>
- Kaya, A., Toyran, M., Civelek, E., Misirlioglu, E., Kirsaclioglu, C., & Kocabas, C. N. (2015). Characteristics and prognosis of allergic proctocolitis in infants. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 61(1), 69–73. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000000767>

- Koksal, B. T., Baris, Z., Ozcay, F., & Yilmaz Ozbek, O. (2018). Single and multiple food allergies in infants with proctocolitis. *Allergologia et Immunopathologia*, 46(1), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2017.02.006>
- Kont Özhan, A., Akbey, V., İlhan Yalaki, A., Tökmeci, N., Demirhan, A., Arıkoğlu, T., & Kuyucu, S. (2023). Çocuklarda besin proteini ilişkili alerjik proktokolitin klinik ve demografik özellikleri: Tek merkez deneyimi [Clinical and demographic characteristics of food protein-induced allergic proctocolitis in children: A single-center experience]. *Dicle Tıp Dergisi*, 50(4), 568–577. <https://doi.org/10.5798/dicletip.1412114>
- Labrosse, R., Graham, F., & Caubet, J. C. (2020). Non-IgE-mediated gastrointestinal food allergies in children: An update. *Nutrients*, 12(7), 2086. <https://doi.org/10.3390/nu12072086>
- Lucarelli, S., Di Nardo, G., Lastrucci, G., D'Alfonso, Y., Marcheggiano, A., Federici, T., Frediani, S., Frediani, T., & Cucchiara, S. (2011). Allergic proctocolitis refractory to maternal hypoallergenic diet in exclusively breast-fed infants: A clinical observation. *BMC Gastroenterology*, 11, 82. <https://doi.org/10.1186/1471-230X-11-82>
- Martin, V. M., Virkud, Y. V., Seay, H., Hickey, A., Ndahayo, R., Rosow, R., Southwick, C., Elkort, M., Gupta, B., Kramer, E., Pronchick, T., Reuter, S., Keet, C., Su, K. W., Shreffler, W. G., & Yuan, Q. (2020). Prospective assessment of pediatrician-diagnosed food protein-induced allergic proctocolitis by gross or occult blood. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 8(5), 1692–1699.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2019.12.029>
- Mennini, M., Fiocchi, A. G., Cafarotti, A., Montesano, M., Mauro, A., Villa, M. P., & Di Nardo, G. (2020). Food protein-induced allergic proctocolitis in infants: Literature review and proposal of a management protocol. *World Allergy Organization Journal*, 13(10), 100471. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100471>
- Meyer, R., Chebar Lozinsky, A., Fleischer, D. M., Vieira, M. C., Du Toit, G., Vandenplas, Y., Dupont, C., Knibb, R., Uysal, P., Cavkaytar, O., Nowak-Węgrzyn, A., Shah, N., & Venter, C. (2020). Diagnosis and management of non-IgE gastrointestinal allergies in breastfed infants: An EAACI position paper. *Allergy*, 75(1), 14–32. <https://doi.org/10.1111/all.13947>
- Nowak-Węgrzyn, A., Katz, Y., Mehr, S. S., & Koletzko, S. (2015). Non-IgE-mediated gastrointestinal food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 135(5), 1114–1124. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2015.03.025>
- Senocak, N., Ertugrul, A., Ozmen, S., & Bostanci, I. (2022). Clinical features and clinical course of food protein-induced allergic proctocolitis: 10-year experience of a tertiary medical center. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 10(6), 1608–1613. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2022.02.013>
- Uncuoğlu, A., Aydoğan, M., Şimşek, I. E., Çöğürlü, M. T., Uçak, K., & Acar, H. C. (2022). A prospective assessment of clinical characteristics and responses to dietary elimination in food protein-induced allergic proctocolitis. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 10(1), 206–214.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2021.10.048>
- Xanthakos, S. A., Schwimmer, J. B., Melin-Aldana, H., Rothenberg, M. E., Witte, D. P., & Cohen, M. B. (2005). Prevalence and outcome of allergic colitis in healthy infants with rectal bleeding: A prospective cohort study. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 41(1), 16–22. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000161039.96200.f1>
- Zhang, S., Sicherer, S., Berin, M. C., & Agyemang, A. (2021). Pathophysiology of non-IgE-mediated food allergy. *ImmunoTargets and Therapy*, 10, 431–446. <https://doi.org/10.2147/ITT.S284821>

TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ İLKOKUL PROGRAMLARINDA FİNANSAL OKURYAZARLIK İZLEĞİ: HAYAT BİLGİSİ VE SOSYAL BİLGİLER ÖRNEĞİ

Derya BEKİROĞLU

Istanbul University- Cerrahpaşa, Graduation of Institution, Department of Primary Education,
Avcılar Campus

ORCID: 0000-0002-5322-8290

Doç.Dr.Nur ÜTKÜR-GÜLLÜHAN

Istanbul University- Cerrahpaşa, Hasan Ali Yücel Faculty, Department of Primary Education,
Hadımköy Campus

ORCID: 0000-0003-2062-5430

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (2024) kapsamında güncellenen ilkokul Hayat Bilgisi (1-3. Sınıf) ve Sosyal Bilgiler (4. Sınıf) dersi öğretim programlarını finansal okuryazarlık bağlamında analiz etmek ve bu becerinin müfredattaki gelişimsel izleğini ortaya koymaktır. Nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesiyle yürütülen çalışmada; Milli Eğitim Bakanlığı tarafından yayımlanan resmi öğretim programları veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Veriler içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiş ve OECD/INFE (2017) finansal okuryazarlık çerçevesi temel alınarak sınıflandırılmıştır.

Analiz sonuçları, finansal okuryazarlığın Hayat Bilgisi dersinde "öz-koruma" ve "bireysel kaynak yönetimi" temelleriyle başladığını, Sosyal Bilgiler dersinde ise "Hayatımızdaki Ekonomi" ve "Teknoloji ve Sosyal Bilimler" temalarıyla sistematik bir boyuta taşındığını göstermektedir. Bulgular; programın finansal okuryazarlığı; dijital mahremiyet, sürdürülebilirlik ve vatanseverlik değerleriyle bütünleştiren sarmal bir yapıda sunduğunu kanıtlamaktadır. Araştırmanın en temel bulgusu, "Finansal Manzara" bileşenine ilkokul 1, 2 ve 3. sınıf düzeylerinde yer verilmediği, bu bileşenin ancak 4. sınıf düzeyinde müfredata dahil olduğudur.

Sonuç olarak; finansal okuryazarlığın alt sınıflarda sembolik farkındalıklar ve "Risk ve Korunma" odaklı kurgulandığı, üst sınıflarda ise bütçe yönetimi değerleriyle derinleştiği belirlenmiştir. Araştırmada; alt sınıflardaki finansal manzara boşluğunun, çocukların somut işlemler dönemi özellikleri dikkate alınarak günlük yaşamdan örneklerle (paranın fiziksel tanınması, alışveriş mekanları, dijital ödeme araçlarının görsel temsilleri vb.) zenginleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, öğretmenlere yönelik uygulama rehberlerinin hazırlanması ve dijital finansal araçların müfredata erken entegrasyonu, "yeni nesil finansal vatandaşlık" profili için kritik bir ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Finansal okuryazarlık, Hayat Bilgisi dersi, Sosyal Bilgiler, ilkokul, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, tasarruf bilinci, sürdürülebilirlik.

THE TRAJECTORY OF FINANCIAL LITERACY IN PRIMARY SCHOOL CURRICULA UNDER THE TÜRKİYE CENTURY MAARİF MODEL: THE CASE OF LIFE STUDIES AND SOCIAL STUDIES

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the primary school Life Studies (Grades 1-3) and Social Studies (Grade 4) curricula, updated under the Türkiye Century Maarif Model (2024), within the context of financial literacy and to reveal the developmental trajectory of this skill in the

curricula. Conducted through document analysis, a qualitative research method, the study utilizes official teaching programs published by the Ministry of National Education as data sources. Data were analyzed using content analysis and categorized based on the OECD/INFE (2017) financial literacy framework.

Analysis results show that financial literacy begins with "self-protection" and "personal resource management" foundations in the Life Studies course and transitions to a systematic dimension in the Social Studies course through "Economy in Our Lives" and "Technology and Social Sciences" themes. Findings demonstrate that the curriculum presents financial literacy in a spiral structure that integrates digital privacy, sustainability, and patriotic values. The primary finding of the research is that the Financial Landscape component is not included in grades 1, 2, and 3, and only enters the curriculum at the 4th-grade level.

In conclusion, it was determined that financial literacy is constructed through symbolic awareness and "Risk and Protection" in lower grades, while it deepens with budget management values in upper grades. The research recommends enriching the gap in the financial landscape in lower grades with examples from daily life (physical recognition of money, shopping venues, visual representations of digital payment tools, etc.) considering the characteristics of the concrete operational stage of children. Additionally, the preparation of implementation guides for teachers and the early integration of digital financial tools into the curriculum are considered critical needs for a "new generation financial citizenship" profile.

Keywords:; Financial Literacy, Life Studies, Social Studies, Türkiye Yüzyılı Maarif Model, Primary Education, Saving, Sustainability

GİRİŞ

Küresel ekonomik sistemin karmaşıklığının artması ve bireylerin yaşamları boyunca karşılaştıkları finansal kararların çeşitlenmesi, finansal okuryazarlığın erken yaşlardan itibaren geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Günümüzde finansal okuryazarlık yalnızca bireylerin bütçelerini yönetme becerisi değil; aynı zamanda bilinçli tüketim alışkanlıkları geliştirme, yatırım ve tasarruf kararlarında rasyonel davranma, finansal riskleri değerlendirme ve sürdürülebilir bir ekonomik yaşam inşa etme yeterliliği olarak ele alınmaktadır (Lusardi & Mitchell, 2014; OECD, 2017). Erken yaşlarda edinilen bu yeterlilikler, bireylerin yetişkinlik dönemindeki ekonomik refah seviyelerini ve toplumsal kaynakların verimli kullanımını doğrudan etkilemektedir (Amagir vd., 2018; Batty vd., 2015).

Finansal okuryazarlık eğitiminin ilkökul düzeyinde başlaması gerektiğini savunan araştırmalar, çocukların para ile ilgili kavramları 7 yaşından itibaren anlamaya başladığını ve bu dönemde geliştirilen tutumların kalıcı davranışlara dönüştüğünü vurgulamaktadır (Whitebread & Bingham, 2013). Ulusal literatürde de finansal okuryazarlığın erken çocukluk ve ilkökul döneminde verilmesinin, bireyin "istek" ve "ihtiyaç" arasındaki ayrımı yapabilen, bilinçli bir tüketici olarak yetişmesi açısından kritik olduğu belirtilmektedir (Güvenç, 2017; Temizel & Bayram, 2011). Bu eğitim süreci yalnızca ekonomik bir bilgi aktarımı değil; aynı zamanda sabır, öz düzenleme ve sorumluluk gibi değerleri de içeren bütüncül bir pedagojik yaklaşımdır (Varcoe vd., 2018). Uluslararası alanda finansal okuryazarlık eğitiminin standartlarını belirleyen en kapsamlı çerçevelerden biri OECD/INFE (2017) tarafından oluşturulmuştur. OECD/INFE, finansal okuryazarlığı yalnızca bilgi düzeyiyle sınırlı kalmayıp; finansal refahı artırmak amacıyla sergilenen farkındalık, bilgi, beceri, tutum ve davranışların bütünü olarak tanımlamaktadır. Bu çerçeve kapsamında finansal yetkinlikler; 'Para ve İşlemler', 'Planlama ve Yönetim', 'Risk ve Korunma' ile 'Finansal Manzara' olmak üzere dört temel içerik alanında

yapılandırılmıştır. Erken çocukluk ve ilkököl dönemindeki finansal eğitim girişimlerinin, bu dört bileşeni çocuğun gelişimsel düzeyine uygun şekilde sarmal bir yapıda sunması, bireyin modern ekonomik sisteme uyum sağlaması açısından kritik bir öneme sahiptir (OECD, 2017). Dolayısıyla, ulusal müfredatların bu uluslararası yetkinlik alanlarıyla ne düzeyde örtüşüğünün analizi, sunulan eğitimin niteliğini belirlemek açısından temel bir gerekliliktir.

Türkiye’de 2024 yılında yürürlüğe giren Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, finansal okuryazarlığı (OB3) bir "Programlar Arası Bileşen" olarak tanımlayarak bu alandaki ihtiyaca sistemli bir yanıt vermiştir (MEB, 2024). Bu modelde finansal okuryazarlık; Hayat Bilgisi dersinde temel öz-bakım ve kaynak yönetimi becerileriyle başlarken, Sosyal Bilgiler dersinde "Hayatımızdaki Ekonomi" ve "Teknoloji ve Sosyal Bilimler" temalarıyla daha sistematik ve teknik bir boyuta taşınmaktadır. Özellikle Sosyal Bilgiler programında finansal okuryazarlığın; sürdürülebilirlik (OB8), dijital güvenlik (SB.4.6.1) ve vatanseverlik (D19) gibi değerlerle ilişkilendirilmesi, modelin "erdem-değer-eylem" odaklı yapısını yansıtmaktadır.

Literatürde ilkököl düzeyinde finansal okuryazarlığın müfredatlara entegrasyonuna yönelik uluslararası çalışmalar artsa da (Blue vd., 2020; Walstad vd., 2017), Türkiye’de güncellenen 2024 programlarının bu beceriyi sarmal bir yapıda nasıl sunduğuna dair yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma, Hayat Bilgisi ve Sosyal Bilgiler (4. Sınıf) dersi kazanımlarını analiz ederek müfredatın finansal okuryazarlık eğitimi açısından sunduğu potansiyeli ve pedagojik derinliği ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın Problemi

Bu araştırmanın temel problemi “2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamındaki Hayat Bilgisi ve 4. Sınıf Sosyal Bilgiler dersi kazanımları, finansal okuryazarlık becerilerini hangi boyutlarda ve ne ölçüde yansıtmaktadır?”

Bu temel problemten hareketle çalışmada aşağıdaki alt sorulara yanıt aranmaktadır:

1. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Hayat Bilgisi ve Sosyal Bilgiler dersi kazanımlarında finansal okuryazarlıkla ilişkili temalar ve anahtar kavramlar nelerdir?
2. İncelenen kazanımlar; finansal okuryazarlığın bilgi, beceri ve tutum/davranış boyutlarını her iki ders düzeyinde ne ölçüde kapsamaktadır?
3. Öğretim programındaki kazanımlar, OECD/INFE (2017) finansal okuryazarlık çerçevesi ile nasıl bir uyum ve gelişimsel izlek sergilemektedir?
4. Sosyal Bilgiler programındaki dijital güvenlik ve sürdürülebilirlik vurgusu, finansal okuryazarlığın modern bileşenleriyle nasıl ilişkilendirilmektedir?

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımına dayalı doküman incelemesi (document analysis) yöntemi ile yürütülmüştür. Doküman incelemesi, araştırma konusu ile ilgili yazılı materyallerin sistematik bir biçimde analiz edilerek anlamlandırılmasına olanak sağlayan bir yöntemdir (Bowen, 2009). Bu çalışmada, 2024 yılında yürürlüğe giren Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Hayat Bilgisi dersi öğretim programı temel veri kaynağı olarak ele alınmıştır. Araştırma, söz konusu programda yer alan tüm kazanımların finansal okuryazarlık çerçevesinde incelenmesini ve değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Veri Kaynağı ve Kapsam

Araştırmanın veri setini, Millî Eğitim Bakanlığı tarafından 2024 yılında yayımlanan ve yürürlüğe giren **Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli** kapsamındaki resmi öğretim programları oluşturmaktadır. Analiz edilen temel dokümanlar şunlardır:

- **Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programı:** 1, 2 ve 3. Sınıf düzeyindeki "Sağlığım ve Güvenliğim" teması.
- **Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı:** 4. Sınıf düzeyindeki "Hayatımızdaki Ekonomi" ve "Teknoloji ve Sosyal Bilimler" temaları

Veri Toplama Süreci

Veri toplama sürecinde, Millî Eğitim Bakanlığı'nın resmi platformundan (tymm.meb.gov.tr) temin edilen güncel öğretim programları esas alınmıştır. Programlar içerisinde yer alan öğrenme çıktıları (kazanımlar), süreç bileşenleri, içerik çerçevesi ve programlar arası bileşenler detaylı bir taramaya tabi tutulmuştur. Tarama esnasında; finansal okuryazarlık (OB3), sürdürülebilirlik (OB8) ve dijital okuryazarlık (OB2) ile doğrudan veya dolaylı (öz-düzenleme, kaynak yönetimi, güvenlik) ilişkisi olan tüm çıktılar veri setine dahil edilmiştir.

Veri Analizi

Elde edilen veriler, nitel veri analiz tekniklerinden içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Analiz süreci şu aşamalardan oluşmuştur:

1. **Kodlama:** Öğrenme çıktıları; finansal bilgi, beceri ve tutum/davranış boyutlarına göre kodlanmıştır.
2. **Temalandırma:** Belirlenen kodlar, OECD/INFE (2017) finansal okuryazarlık çerçevesindeki (Para ve İşlemler, Planlama ve Yönetim, Risk ve Korunma, Finansal Manzara) temel bileşenlerle ilişkilendirilerek temalara ayrılmıştır.
3. **Sınıflandırma:** Veriler sınıf düzeylerine göre sarmal yapı içerisinde karşılaştırmalı olarak tablolastırılmıştır.

Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın geçerliğini sağlamak amacıyla "doğrudan alıntılama" yoluna gidilmiş ve analiz edilen her bir öğrenme çıktısı kendi koduyla (Örn: HB.2.2.2 veya SB.4.5.1) metne dahil edilerek verilerin kaynağına sadık kalınmıştır. Güvenirliği artırmak için ise kodlama süreci araştırmacı tarafından farklı zaman dilimlerinde yinelenerek "kodlayıcı içi tutarlık" kontrol edilmiştir. Ayrıca, elde edilen bulgular uluslararası literatürle (OECD/INFE) karşılaştırılarak analizlerin dış geçerliği desteklenmiştir.

BULGULAR

1. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Hayat Bilgisi ve Sosyal Bilgiler dersi kazanımlarında finansal okuryazarlıkla ilişkili temalar ve anahtar kavramlar nelerdir?

Bulgulara göre TYMM HB ve SB dersi kazanımlarında Finansal okuryazarlık; tasarruf, bilinçli tüketim, kaynakların korunması ve güvenlik gibi temalarla örülmüştür. Tablo 1'de bulgulara ilişkin sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 1: Sınıf Düzeylerine Göre Finansal Okuryazarlık İlişkili Temalar ve Kavramlar (MEB, 2024)

Sınıf / Ders	Tema / Öğrenme Alanı	Finansal Okuryazarlıkla İlişkili Anahtar Kavramlar
1. Sınıf HB	Sağlığım ve Güvenliğim	Sağlıklı Büyüme (Kaynak olarak beden), Güvenlik, Acil Durum
2. Sınıf HB	Sağlığım ve Güvenliğim	Alışkanlıklar, Güvenlik, Kişisel Alan, Acil Durum Bilgisi
3. Sınıf HB	Sağlığım ve Güvenliğim	Sağlığı Koruma (Bireysel sermaye), Güvenlik, Trafik Kuralları
4. Sınıf SB	Hayatımızdaki Ekonomi	Finansal Okuryazarlık, İstek, İhtiyaç, Rezerv, Bilinçli Tüketim, Üretim-Dağıtım-Tüketim
4. Sınıf SB	Teknoloji ve Sosyal Bilimler	Dijital Güvenlik, Dijital Mahremiyet, Siber Zorbalık

Tablo 1 incelendiğinde, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde finansal okuryazarlığın sadece ekonomik bir bilgi kümesi olarak değil, bireyin "öz-koruma" becerisinden başlayarak "bilinçli sistem yönetimine" evrilen sarmal bir yapıda kurgulandığı görülmektedir. 1. sınıfta "Sağlıklı Büyüme ve Gelişme" kavramıyla temeli atılan süreç, bireyin sahip olduğu en temel sermaye olan "bedensel sermayesini" koruma bilinciyle başlar. Bu aşamada "Kişisel Alan" ve "Güvenlik" kavramları, finansal okuryazarlığın risk yönetimi boyutunun ilk pedagojik basamaklarını oluşturarak bireye kendi sınırlarını ve kaynaklarını koruma yetisi kazandırır. Eğitim sürecinin 2. ve 3. sınıf düzeylerinde, kavramların daha çok "Alışkanlıklar" ve "Sorgulama" odaklı derinleştiği görülür. Öğrencinin günlük yaşamındaki tutumlarını "çözümleyebilmesi" (KB2.4) ve sağlığı ile alışkanlıkları arasında ilişki kurması, finansal okuryazarlığın öz-düzenleme bileşenini destekler. Bu dönemde "Güvenliği Tehdit Eden Durumlar" başlığı altında sunulan kişisel bilgilerin gizliliği (şifre, adres, fotoğraf paylaşmama) vurgusu, dijital finansal güvenliğin erken çocukluktaki karşılığıdır.

İlkokul kademesinin zirve noktası olan 4. sınıfta ise kavramlar, Hayat Bilgisi'ndeki duyuşsal temellerden kopmadan doğrudan teknik bir nitelik kazanır. Sosyal Bilgiler dersinde "Finansal Okuryazarlık (OB3)" becerisi açıkça isimlendirilerek; "İstek ve İhtiyaç" ayrımı, "Rezerv", "Üretim-Dağıtım-Tüketim" ve "Bilinçli Tüketim" kavramlarıyla sistemleştirilir. Burada "Rezerv" kavramı üzerinden kaynakların sınırlılığının öğretilmesi, OECD/INFE (2017) çerçevesindeki "Para Yönetimi ve Planlama" bileşeniyle tam uyum gösterirken; "Dijital Mahremiyet" ve "Güvenlik" kurallarının eyleme yansıtılması, öğrenciyi modern dünyanın dijital ekonomik risklerine karşı donanımlı hale getirir.

Sonuç olarak Tablo 1, müfredatın öğrenciyi 1. sınıftan itibaren "Sorumluluk" (D16) ve "Tasarruf" (D17) değerleri ışığında hazırladığını; 4. sınıfta ise bu değerleri "Finansal Vatandaşlık" eylemine dönüştürdüğünü kanıtlamaktadır. Programın bu izleği, finansal okuryazarlığı sadece matematiksel bir işlem becerisi olmaktan çıkarıp, vatanseverlik (D19) ve sürdürülebilirlik (OB8) ile ilişkilendirilmiş toplumsal bir yaşam becerisi haline getirmektedir.

2. İncelenen öğrenme çıktıları; finansal okuryazarlığın bilgi, beceri ve tutum/davranış boyutlarını her iki ders düzeyinde ne ölçüde kapsamaktadır?

TYMM HB ve SB öğrenme çıktıları "Bilgi, Beceri ve Tutum/Davranış Boyutları" analizine göre bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: Finansal Okuryazarlık Bileşenlerinin (Bilgi, Beceri, Tutum)TYMM HB ve SB Öğrenme Çıktılarına Göre Dağılım Analizi (MEB,2024).

Boyut (OECD/INFE)	1. Sınıf HB Öğrenme Çıktıları	2. Sınıf HB Öğrenme Çıktıları	3. Sınıf HB Öğrenme Çıktıları	4. Sınıf SB Öğrenme Çıktıları
Bilgi (Knowledge)	Acil durumlarda yapılması gerekenleri belirleme (HB.1.2.4).	Sağlıklı büyüme için yapılması gerekenleri belirleme (HB.2.2.1.a).	Sağlığını korumaya yönelik davranışları fark etme (HB.3.2.1.a).	İstek ve ihtiyaçları arasındaki deneyimleri inceleme (SB.4.5.2.a).
Beceri (Skills)	Sağlıklı büyüme için yapması gerekenleri belirleme süreci (HB.1.2.1).	Sağlıklı büyüme ile alışkanlıkları arasındaki ilişkiyi belirleme (HB.2.2.1.c).	Güvenliğini tehdit eden durumlar hakkında bilgi toplama (HB.3.2.2.c).	Doğal kaynakların tüketimi ile ilgili grafik yorumlama (SB.4.5.1).
Tutum ve Davranış	Temel trafik kurallarına uygun	Kişisel alanının sınırlarını koruma (HB.2.2.2).	Sağlığını korumak için uygun olmayan davranışlarda	İstek ve ihtiyaçları arasındaki bilinçli seçimleri hayatına

(Attitudes & Behaviours)	davranma (HB.1.2.3).	değişiklik yapma (HB.3.2.1.b).	yansıtma (SB.4.5.2).
--------------------------	----------------------	--------------------------------	----------------------

Tablo 2 verileri incelendiğinde, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde finansal okuryazarlık bileşenlerinin öğrencinin bilişsel ve sosyal gelişimine paralel bir öğrenme çıktısı hiyerarşisiyle yapılandırıldığı görülmektedir. **Bilgi** boyutu, 1. sınıfta "acil durumlarda yapılması gerekenleri belirleme" (HB.1.2.4) gibi temel ve hayati tanımlamalarla başlarken, 4. sınıfta "istek ve ihtiyaçlar arasındaki deneyimleri inceleme" (SB.4.5.2.a) gibi ekonomik sistemin temel kavramsal farkındalığına evrilmektedir. Bu gelişim, öğrencinin finansal dünyayı önce fiziksel ve güvenliksel ihtiyaçları üzerinden tanımasını, ardından sistemin işleyişine dair teorik altyapıyı kurmasını sağlamaktadır.

Beceri boyutu incelendiğinde, programın öğrenciyi pasif bilgi alıcısı konumundan çıkarıp aktif bir "analizci" haline getirdiği net bir şekilde görülmektedir. 2. sınıfta "alışkanlıklar ve sağlık arasındaki ilişkiyi belirleyen" (HB.2.2.1.c) öğrenci, 3. sınıfta güvenliğini tehdit eden durumlar hakkında "bilgi toplama" (HB.3.2.2.c) yetisi kazanmakta; 4. sınıfta ise "doğal kaynak tüketimi grafiklerini yorumlama" (SB.4.5.1) aşamasına gelerek somut bir veri okuryazarlığı sergilemektedir. Bu durum, finansal okuryazarlığın temelindeki "kanıta dayalı karar verme" becerisinin ilkökul kademesinde adım adım inşa edildiğini kanıtlamaktadır.

Boyutlar arasındaki en kritik aşama olan **Tutum ve Davranış**, programın değerler sistemiyle en sıkı bağ kurduğu alandır. 1. sınıfta trafik kurallarına "uygun davranma" (HB.1.2.3) şeklinde görülen temel uyum davranışı, 3. sınıfta "uygun olmayan davranışlarda değişiklik yapma" (HB.3.2.1.b) gibi bir öz-düzenleme bilincine dönüşmektedir. 4. sınıfa gelindiğinde ise bu tutumlar, "bilinçli seçimleri hayatına yansıtma" (SB.4.5.2) öğrenme çıktısı ile gerçek hayatın bütçe ve tüketim krizlerine karşı birer savunma mekanizması haline gelmektedir.

Sonuç olarak; Tablo 2, müfredatın finansal okuryazarlığı sadece bilgi düzeyinde bırakmayıp, özellikle 3. ve 4. sınıflarda beceri ve davranış boyutuna ağırlık vererek öğrenciyi "Bilinçli Tüketici" ve "Finansal Vatandaş" kimliğine hazırladığını göstermektedir. OECD/INFE (2017) standartlarında vurgulanan "bilginin eyleme dönüşmesi" ilkesi, Maarif Modeli'ndeki bu sarmal ve kodlanmış öğrenme çıktıları ile pedagojik bir süreklilik kazanmaktadır.

3.Öğretim programındaki kazanımlar, OECD/INFE (2017) finansal okuryazarlık çerçevesi ile nasıl bir uyum ve gelişimsel izlek sergilemektedir?

TYMM HB ve SB öğrenme çıktılarının uluslararası finansal okuryazarlık çerçeveleriyle (OECD/INFE) uyumu ve gelişimsel izleğine ilişkin bulgular Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: Öğrenme Çıktılarının OECD/INFE Finansal Okuryazarlık Temel Bileşenleriyle Uyumu ve Gelişimsel İzleği

OECD/INFE Temel Bileşeni	1. Sınıf HB Gelişimsel Odak	2. Sınıf HB Gelişimsel Odak	3. Sınıf HB Gelişimsel Odak	4. Sınıf SB Gelişimsel Odak
Para ve İşlemler	Temel ihtiyaçların belirlenmesi.	Sağlıklı alışkanlıkların maliyeti/değeri.	İhtiyaç duyulan materyallerin belirlenmesi.	Üretim, dağıtım ve tüketim süreçlerinin analizi.
Planlama ve Yönetim	Acil durumlarda yardım isteme stratejisi.	Günlük rutinlerin ve temizlik alışkanlıklarının yönetimi.	Sağlık davranışlarının öz-düzenleme ile yönetilmesi.	İstek ve ihtiyaçlar arasında bütçe odaklı bilinçli seçimler.
Risk ve Korunma	Kişisel alan sınırlarını belirleyerek kendini koruma.	Kişisel bilgilerin (şifre, adres) gizliliğini sağlama.	Güvenliği tehdit eden durumları sorgulama ve bilgi toplama.	Çevrim içi güvenlik kurallarını eyleme yansıtma.

Finansal Manzara	-	-	-	Doğal kaynak rezervleri ve sürdürülebilir ekonomi ilişkisi.
-----------------------------	---	---	---	---

Tablo 3 verileri incelendiğinde, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin finansal okuryazarlık (OB3) vizyonunun, OECD/INFE (2017) tarafından tanımlanan dört temel bileşenle pedagojik bir süreklilik içerisinde yapılandırıldığı görülmektedir. Bu gelişimsel izlek, öğrencinin bilişsel hazırbulunuşluğuna paralel olarak "bireysel farkındalıktan toplumsal sisteme" doğru bir genişleme göstermektedir.

Para ve İşlemler bileşeni açısından programın; 1. sınıfta sağlıklı büyüme için gerekli olan temel besin ve materyalleri "belirleme" , 2. sınıfta ise bu unsurların alışkanlıklarla olan "ilişkisini ve değerini" kavrama düzeyinde olduğu görülmektedir. 4. sınıfa gelindiğinde bu süreç, bir ürünün üretim, dağıtım ve tüketim yolculuğunu "çözümleme" aşamasına evrilerek gerçekçi bir ekonomik sistem bilgisine dönüşmektedir.

Planlama ve Yönetim boyutu, Maarif Modeli'nde bireyin kendi yaşamını ve kaynaklarını yönetme becerisiyle doğrudan ilişkilendirilmiştir. 1. sınıfta acil durumlarda "yardım isteme stratejisi" geliştiren öğrenci , 3. sınıfta sağlık davranışlarını "öz-düzenleme" (SDB1.2) yoluyla yönetmeyi öğrenmekte; 4. sınıfta ise sınırlı maddi kaynaklar ile istek ve ihtiyaçlar arasında "bütçe odaklı bilinçli seçimler" yaparak yönetim becerisini finansal bir eyleme dönüştürmektedir.

Uluslararası standartlarda kritik öneme sahip olan **Risk ve Korunma** bileşeni, programda kesintisiz bir çizgi izlemektedir. 1. sınıfta "kişisel alan sınırlarını belirleme" ile başlayan öz-koruma bilinci , 2. sınıfta çevrim içi ortamdaki şifre ve kimlik bilgilerinin gizliliğini sağlama düzeyine ulaşmaktadır. 4. sınıfta bu durum, "çevrim içi güvenlik kurallarını eylemlerine yansıtma" (SB.4.6.1) noktasına taşınarak modern dünyanın finansal ve siber risklerine karşı bir savunma mekanizması oluşturmaktadır.

Finansal Manzara bileşeni, Tablo 3'te görüldüğü üzere ilkokulun ilk üç yılında doğrudan bir çıktı içermezken, 4. sınıf Sosyal Bilgiler programıyla sisteme dahil olmaktadır. Bu düzeyde "doğal kaynak rezervleri ve sürdürülebilir ekonomi" (OB8) arasındaki ilişkinin grafikler üzerinden yorumlanması, öğrencinin bireysel kararlarının toplumsal ve küresel ölçekteki ekonomik yansımalarını fark etmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak; Tablo 3, Maarif Modeli'nin finansal okuryazarlığı salt matematiksel bir hesaplama becerisi olarak değil; risk yönetimi, dijital güvenlik ve sürdürülebilirlik ile harmanlanmış bir "Finansal Vatandaşlık" projesi olarak kurguladığını akademik kanıtlarla ortaya koymaktadır.

4.TYMM HB ve SB programındaki dijital güvenlik ve sürdürülebilirlik vurgusu, finansal okuryazarlığın modern bileşenleriyle nasıl ilişkilendirilmektedir?

TYMM HB ve SB programındaki dijital güvenlik ve sürdürülebilirlik finansal okuryazarlığın modern bileşenleriyle analiz bulguları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Dijital Güvenlik ve Sürdürülebilirlik Bileşenlerinin Öğrenme Çıktıları Bazlı Dağılımı

Modern Bileşen	İlgili Öğrenme Çıktısı / Süreç	İlişkili Okuryazarlık ve Değerler
Dijital Finansal Güvenlik	Çevrim içi ortamlarda şifre, adres ve kişisel bilgilerin gizliliğini koruma (HB.2.2.2).	OB2. Dijital Okuryazarlık, D8. Mahremiyet.
Siber Savunma ve Etik	Çevrim içi güvenlik kurallarını eylemlere yansıtma ve siber zorbalığı belirleme (SB.4.6.1).	OB2. Dijital Okuryazarlık, D14. Saygı.

Kaynak Sürdürülebilirliği	Doğal kaynakların sınırlılığını fark ederek grafikler üzerinden çıkarım yapma (SB.4.5.1).	OB8. Sürdürülebilirlik Okuryazarlığı, D19. Vatanseverlik.
Bilinçli Tüketim ve İsraf	Kaynakları tasarruflu kullanma (HB.2.5.4) ve israftan kaçınma bilinci (SB.4.5.2).	D17. Tasarruf, OB3. Finansal Okuryazarlık.

Tablo 4 verileri incelendiğinde, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin finansal okuryazarlığı (OB3), sadece bir matematiksel işlem yetkinliği olarak değil; dijital savunma ve ekolojik sorumluluk ile harmanlanmış bir "yaşam becerisi" olarak kurguladığı görülmektedir. Bu vizyonun ilk ayağını oluşturan Dijital Güvenlik, ilkökul 2. sınıftan itibaren "şifre ve kimlik bilgilerinin gizliliği" (HB.2.2.2) üzerinden bir mahremiyet (D8) bilinci inşa etmektedir. 4. sınıfa gelindiğinde bu bilincin, "güvenilir bilgi kaynaklarına erişim" ve "siber zorbalığa karşı eyleme geçme" (SB.4.6.1) düzeyine taşınması, öğrenciyi modern dijital ekonomi ekosisteminin risklerine karşı donanımlı kılmaktadır.

Analizin ikinci ve en stratejik ayağı olan Sürdürülebilirlik, finansal okuryazarlığın "israfi önleme" ve "kaynak yönetimi" boyutlarını makro bir düzleme taşımaktadır. Dokümanlarda (SB.4.5.1) yer alan "doğal kaynak rezervleri ve tüketim oranlarının grafiklerle analizi", öğrenciye bireysel harcamalarının ötesinde, toplumsal ve küresel bir ekonomi bilinci kazandırmaktadır. Özellikle bu sürecin Vatanseverlik (D19) değeriyle ilişkilendirilmesi, doğal kaynakları korunması gereken bir "milli servet" olarak tanımlamakta ve finansal okuryazarlığı ahlaki bir zemine oturtmaktadır.

Sonuç olarak; Tablo 4, Maarif Modeli'nde finansal okuryazarlığın geleneksel sınırlarını aşarak; dijital mahremiyeti koruyabilen, veriye dayalı (grafik okuma) kararlar alabilen ve kaynakların sürdürülebilirliğini milli bir ödev (tasarruf) olarak gören "Yeni Nesil Finansal Vatandaş" profilini hedeflediğini kanıtlamaktadır. Bu durum, programın OECD'nin modern finansal yeterlilik standartlarıyla sadece uyumlu olmadığını, aynı zamanda değerler eğitimiyle bu standartları özgünleştirdiğini göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırma, 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında güncellenen ilkökul programlarının finansal okuryazarlık (OB3) bileşenlerini sarmal bir izlekle nasıl yapılandırıldığını ortaya koymuştur. Bulgular, finansal okuryazarlığın ilkökul 1. sınıftan itibaren "öz-koruma" ve "kaynak yönetimi" temelleri üzerine inşa edildiğini, 4. sınıfta ise bu temellerin somut ekonomik analizlere (üretim-dağıtım-tüketim) dönüştüğünü kanıtlamaktadır.

Finansal okuryazarlık eğitiminin ilkökul düzeyinde başlaması gerektiğini savunan araştırmalar, çocukların ekonomik tutumlarının 7 yaşına kadar şekillenmeye başladığını ve bu sürecin öz-düzenleme becerileriyle sıkı sıkıya bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Whitebread & Bingham, 2013; Batty vd., 2015). Programda 1. sınıftan itibaren yer alan "Sağlıklı Büyüme" (HB.1.2.1) ve "Kişisel Alan" (HB.1.2.2) öğrenme çıktıları, bireyin sahip olduğu en temel sermaye olan bedensel ve fiziksel varlığını koruma bilincini temsil etmektedir. Bu yaklaşım, finansal okuryazarlığı sadece para yönetimi olarak değil, "Bireysel Beşerî Sermaye"nin yönetimi olarak ele alan çağdaş literatürle örtüşmektedir (Lusardi & Mitchell, 2014).

Literatürde finansal okuryazarlığın etik ve sosyal boyutları, sürdürülebilir bir ekonomik yaşamın anahtarı olarak görülmektedir (Amagir vd., 2018; Blue vd., 2020). Maarif Modeli'nde bu boyutun; Tasarruf (D17) ve Vatanseverlik (D19) değerleri üzerinden millî bir zemine oturtulduğu görülmektedir. Özellikle 4. sınıf düzeyinde doğal kaynak rezervlerinin (SB.4.5.1) grafiklerle analiz edilmesi, öğrenciyi sadece bireysel bir tüketici değil, kararlarının toplumsal ve küresel etkilerini fark eden bir "Finansal Vatandaş" olarak konumlandırmaktadır. Bu durum,

OECD'nin (2017) finansal kararların çevresel ve sosyal sonuçlarını anlama vizyonu ile yüksek düzeyde uyum sergilemektedir.

Dijitalleşen ekonomi dünyasında "Risk ve Korunma" bileşeni hayati bir önem kazanmıştır (Walstad vd., 2017; Varcoe vd., 2018). Programda 2. sınıfta başlayan "kişisel bilgilerin gizliliği" (HB.2.2.2) vurgusunun, 4. sınıfta "çevrim içi güvenlik eylemlerine" (SB.4.6.1) dönüşmesi, literatürde belirtilen erken yaşta dijital finansal savunma mekanizması geliştirme ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca, istek ve ihtiyaçlar arasında yapılan "Bilinçli Seçim" (SB.4.5.2) eylemi, finansal eğitimin sadece teorik bilgi değil, rasyonel davranış değişikliği yaratma hedefine hizmet etmektedir (Güvenç, 2017; Temizel & Bayram, 2011).

Sonuç olarak, 2024 müfredatı finansal okuryazarlığı; Dijital Okuryazarlık (OB2) ve Sürdürülebilirlik Okuryazarlığı (OB8) ile disiplinler arası bir düzlemde bütünleştirmiştir. Ancak bulgular, "Finansal Manzara" bileşeninin 4. sınıfa kadar sınırlı kalmasının (Tablo 3), literatürde önerilen erken yaşta finansal sistem farkındalığı açısından bir gelişim alanı olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın Sınırlılıkları ve Öneriler

Sınırlılıklar

- Bu araştırma, doküman incelemesi yöntemiyle sınırlı olup sadece 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Hayat Bilgisi (1-3) ve Sosyal Bilgiler (4) öğretim programı metinlerini kapsamaktadır.
- Analiz süreci, programda tanımlanan yazılı öğrenme çıktıları ve içerik çerçeveleriyle sınırlı tutulmuş; ders kitapları veya öğretmen uygulamaları kapsam dışında bırakılmıştır.

Öneriler

1. **Program Tasarımı:** İlkokul 1, 2 ve 3. sınıf düzeylerinde "Finansal Manzara" bileşenine yönelik paranın sembolik değeri ve temel ekonomik kurumların işlevi gibi sembolik farkındalıklar Hayat Bilgisi içeriğine entegre edilmelidir.
2. **Dijital Entegrasyon:** 4. sınıfta yer alan dijital güvenlik eylemleri (SB.4.6.1), temel finansal teknolojilerin (ATM, dijital kart vb.) güvenli kullanımıyla ilişkilendirilerek zenginleştirilmelidir.
3. **Akademik Çalışmalar:** Gelecek araştırmalarda, programdaki bu finansal çıktıların ders kitaplarındaki etkinliklere (Örn: Grafik çizme, bütçe senaryoları) yansımaları "materyal analizi" yöntemiyle incelenmelidir.
4. **Değerler Eğitimi:** Tasarruf (D17) değerinin sadece kaynak kullanımıyla sınırlı kalmayıp, zaman ve emek tasarrufu gibi finansal okuryazarlığın alt boyutlarını da kapsayacak şekilde derinleştirilmesi önerilir.

Kaynakça

- Amagir, A., Groot, W., Brink, H. M., & Wilschut, A. (2018). A review of financial-literacy education programs for children and adolescents. *Citizenship, Social and Economics Education*, 17(1), 56–80. <https://doi.org/10.1177/2047173417719555>
- Batty, M., Collins, J. M., & Odders-White, E. (2015). Experimental Evidence on the Effects of Financial Education on Elementary School Students' Knowledge, Behavior, and Attitudes. *The Journal of Consumer Affairs*, 49(1), 69–96. <https://doi.org/10.1111/joca.12145>

- Blue, L., Grootenboer, P., & Brimble, M. (2020). Financial literacy education in the curriculum: Making the grade or missing the mark? *International Review of Economics Education*, 34, 100185. <https://doi.org/10.1016/j.iree.2020.100185>
- Güvenç, H. (2017). Öğretim programlarımızda finansal okuryazarlık. *İlköğretim Online*, 16(3), 935-948.
- Lusardi, A., & Mitchell, O. S. (2014). The economic importance of financial literacy: Theory and evidence. *Journal of Economic Literature*, 52(1), 5–44. <https://doi.org/10.1257/jel.52.1.5>
- Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2024a). *Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programı (İlkokul 1, 2 ve 3. Sınıflar)*. [Erişim adresi: <https://tymm.meb.gov.tr/hayat-bilgisi-dersi/unite/102>].
- Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2024b). *Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı (İlkokul 4. Sınıf)*. [Erişim adresi: <https://tymm.meb.gov.tr/sosyal-bilgiler-dersi/unite/375>].
- OECD/INFE. (2017). *PISA 2015 Results (Volume IV): Students' Financial Literacy*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264270282-en>
- Temizel, F., & Bayram, F. (2011). İlköğretim öğrencilerinin finansal okuryazarlığa ilişkin temel bilgi düzeyleri. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (30), 221-236.
- Varcoe, K., Peterson, S., Garrett, C., Martin, A., Rene, P., & Costello, C. (2018). Money talks: Results of a youth financial education program. *Journal of Financial Counseling and Planning*, 29(2), 228–239. <https://doi.org/10.1891/1052-3073.29.2.228>
- Walstad, W. B., Rebeck, K., & MacDonald, R. A. (2017). The effects of financial education on the financial knowledge of high school students. *Journal of Consumer Affairs*, 51(2), 431–454. <https://doi.org/10.1111/joca.12145>
- Whitebread, D., & Bingham, S. (2013). *Habit Formation and Learning in Young Children*. London: Money Advice Service.

BİR ANİMASYONUN ÖĞRETTİKLERİ: TERS YÜZ (INSIDE OUT) FİLMİNİN SOSYAL DUYGUSAL ÖĞRENME BAĞLAMINDA ANALİZİ

Derya BEKİROĞLU

Istanbul University- Cerrahpaşa, Graduation of Institution, Department of Primary Education,
Avcılar Campus

ORCID: 0000-0002-5322-8290

Doç.Dr.Nur ÜTKÜR-GÜLLÜHAN

Istanbul University- Cerrahpaşa, Hasan Ali Yücel Faculty, Department of Primary Education,
Hadımköy Campus

ORCID: 0000-0003-2062-5430

ÖZET

Araştırmanın amacı, Disney-Pixar tarafından 2015 yılında yayımlanan *Ters Yüz (Inside Out)* filmini sosyal duygusal öğrenme (SDÖ) ilkeleri bağlamında incelemek ve filmin çocukların sosyal-duygusal gelişimine yönelik sunduğu öğretici unsurları ortaya koymaktır. SDÖ, öz-farkındalık, öz-yönetim, sosyal farkındalık, ilişki kurma ve sorumlu karar verme becerilerinden oluşan bütüncül bir çerçeve Bu sunmakta ve çocukların hem akademik başarılarını hem de yaşam doyumlarını desteklemektedir (CASEL, 2020). Film, Paul Ekman'ın temel duygular kuramından (1992) hareketle Neşe, Üzüntü, Öfke, Korku ve Tiksinti karakterlerini Riley isimli bir kız çocuğunun zihninde somutlaştırarak, soyut duyguların anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu yönüyle çocuklara yalnızca formal eğitim ortamlarında değil, medya yoluyla da sosyal-duygusal beceriler kazandırılabilceğini göstermektedir.

Çalışma nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi deseni ile yürütülmüştür. Filmdeki sahneler, Ekman'ın Temel Duygular Kuramı ve Bandura'nın Sosyal Öğrenme Kuramı ışığında betimsel içerik analiziyle çözümlenmiştir. Analiz sürecinde, CASEL'in tanımladığı beş SDÖ boyutu temel alınmış ve filmin bu boyutlara sunduğu katkılar belirlenmiştir.

Bulgular, filmin öz-farkındalık açısından çocuklara olumsuz duyguların da kabul edilmesi gerektiğini göstermesi; öz-yönetim bağlamında Riley'nin duygularını ailesiyle paylaşarak sağlıklı başa çıkma örneği sunması; sosyal farkındalıkta anne-babanın iç dünyasının da gösterilmesiyle empatiyi güçlendirmesi; ilişki kurma becerilerinde akran ilişkilerinde kırılganlık ve aile desteğini görünür kılması; sorumlu karar verme süreçlerinde ise hem yanlış hem de doğru seçimlerin sonuçlarını göstermesi açısından anlamlı bulunduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, *Inside Out* filmi doğrudan bir eğitim materyali olmamakla birlikte çocuklara duygularını tanıma, düzenleme ve sosyal ilişkilerinde sorumluluk geliştirme konularında güçlü modeller sunmaktadır. Bu nedenle filmin sınıf içi etkinlikler ve aile ortamlarında sosyal-duygusal öğrenmeyi destekleyici pedagojik bir araç olarak kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Inside Out, sosyal duygusal öğrenme, ilkökul, öz-farkındalık, öz-yönetim, empati, karar verme

LESSONS FROM AN ANIMATION: AN ANALYSIS OF THE FILM *INSIDE OUT* IN THE CONTEXT OF SOCIAL AND EMOTIONAL LEARNING

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the Disney-Pixar film *Inside Out* (2015) within the framework of Social and Emotional Learning (SEL) and to reveal the pedagogical opportunities it provides for children's socio-emotional development. SEL encompasses a holistic framework

consisting of self-awareness, self-management, social awareness, relationship skills, and responsible decision-making, supporting both children's academic achievement and life satisfaction (CASEL, 2020). Based on Paul Ekman's basic emotions theory (1992), the film visualizes Joy, Sadness, Anger, Fear, and Disgust as characters operating in the mind of a young girl named Riley, thereby making abstract emotions more understandable. In this respect, it demonstrates how children can acquire socio-emotional competencies not only through formal education but also via media products.

This study was designed using the qualitative research approach, specifically document analysis. The film was examined through descriptive content analysis in the light of Ekman's Basic Emotions Theory and Bandura's Social Learning Theory (1977). The analysis was conducted based on CASEL's five dimensions of SEL, and the film's contributions to each competency were identified.

The findings show that *Inside Out* provides rich examples across SEL domains. In terms of self-awareness, the film highlights the importance of acknowledging not only positive but also negative emotions. For self-management, Riley's sharing of her feelings with her family represents a healthy coping strategy. Social awareness is reinforced through scenes where the inner worlds of her parents are displayed, supporting the development of empathy. Regarding relationship skills, the film portrays both the fragility of peer relations and the supportive role of family bonds. Finally, responsible decision-making is illustrated through Riley's impulsive yet reversible choices, demonstrating how emotions influence decision processes.

In conclusion, although *Inside Out* is not originally designed as an educational material, it provides powerful models for children in recognizing and regulating emotions and in developing responsibility within social relationships. Therefore, the film can be regarded as a valuable pedagogical tool to support SEL in classrooms and family contexts.

Keywords: Inside Out, social and emotional learning, self-awareness, self-management, empathy, decision-making

GİRİŞ

Son yıllarda sosyal-duygusal öğrenme (SDÖ), çocuk gelişimi ve eğitimin merkezinde yer alan kavramlardan biri haline gelmiştir. Özellikle öz-farkındalık, öz-yönetim, empati, sosyal farkındalık ve sorumlu karar verme gibi becerilerin erken yaşta desteklenmesi, çocukların hem akademik başarılarını hem de yaşam doyumlarını artırmaktadır (CASEL, 2020; Denham, Bassett & Zinsser, 2019). Araştırmalar, SDÖ programlarının çocukların duygusal düzenleme, akran ilişkileri ve problem çözme becerileri üzerinde kalıcı olumlu etkiler yarattığını göstermektedir (Durlak vd., 2011).

Çocukların bu becerileri yalnızca formal eğitim ortamlarında değil, medya içerikleri aracılığıyla da kazandıkları bilinmektedir. Özellikle animasyon filmler, soyut kavramları somutlaştırma gücü sayesinde çocukların duygularını tanıma, anlamlandırma ve başkalarının duygularına empati geliştirme süreçlerinde etkili araçlar sunmaktadır (Hoffner & Levine, 2005; Towbin, vd., 2003).

Disney-Pixar yapımı *Ters Yüz (Inside Out, 2015)*, temel duyguları somut karakterler aracılığıyla temsil ederek çocukların duygusal dünyasını görünür kılan güçlü bir örnektir. Film, Paul Ekman'ın temel duygu kuramına (Ekman, 1992) dayalı olarak "Neşe, Üzüntü, Öfke, Korku ve Tiksinti"yi Riley isimli bir kız çocuğunun zihninde sahneye taşır. Böylece izleyiciler, Riley'nin yeni bir şehre taşınma sürecinde yaşadığı duygusal iniş çıkışları doğrudan deneyimleme imkânı bulur. Filmdeki anlatı, çocukların yalnızca olumlu duyguların değil, üzüntü gibi olumsuz

görülen duyguların da yaşamın anlamlı bir parçası olduğunu kavramalarına yardımcı olur (Farnsworth & Broom, 2020).

Bu çalışmanın amacı, *Ters Yüz (Inside Out)* filmini sosyal-duygusal öğrenme ilkeleri açısından incelemektir. Bu doğrultuda film, CASEL modelinde tanımlanan beş temel beceri alanı çerçevesinde (CASEL, 2020) nitel içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş; elde edilen bulgular, çocukların öz-farkındalık, öz-yönetim, sosyal farkındalık, ilişki kurma ve sorumlu karar verme becerileri bağlamında tartışılmıştır. Böylece film, yalnızca popüler kültür ürünü değil, aynı zamanda çocukların sosyal-duygusal gelişimini destekleyebilecek pedagojik bir kaynak olarak ele alınacaktır. Dolayısıyla araştırmanın yanıt aradığı sorular şunlardır;

1. Film, çocuklara öz-farkındalık becerisi kazandırma açısından nasıl bir içerik sunmaktadır?
2. Filmde öz-yönetim (duyguların ve davranışların kontrolü) ile ilgili hangi örnekler yer almaktadır?
3. Film, çocuklarda sosyal farkındalık ve empati becerilerini nasıl desteklemektedir?
4. Film, çocuklara sağlıklı ilişkiler kurma ve sürdürme konusunda nasıl modeller sunmaktadır?
5. Filmde sorumlu karar verme süreçleri hangi sahnelerle yansıtılmaktadır?

Kuramsal Çerçeve

Bu çalışmanın kuramsal dayanaklarını Paul Ekman'ın Temel Duygular Kuramı ve Albert Bandura'nın Sosyal Öğrenme Kuramı oluşturmaktadır.

Ekman'ın Temel Duygular Kuramı

Ekman (1992), tüm kültürlerde evrensel olarak tanımlanabilen altı temel duyguyu belirlemiştir: mutluluk, üzüntü, öfke, korku, tiksinti ve şaşkınlık. Bu duyguların yüz ifadeleri aracılığıyla evrensel biçimde tanındığını ortaya koymuştur. Pixar, *Ters Yüz (Inside Out, 2015)* filmini kurgularken Ekman'dan danışmanlık almış ve filmde Riley'nin zihnini yöneten karakterler olarak Neşe, Üzüntü, Öfke, Korku ve Tiksintiyi seçmiştir (Ekman, 2003; Farnsworth & Broom, 2020). Bu yaklaşım, soyut olan duyguların somut bir biçimde görselleştirilmesini sağlayarak çocukların kendi duygularını tanıma ve ayırt etme süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla film, Ekman'ın kuramını doğrudan uygulamalı bir eğitim materyali haline getirmiştir.

Bandura'nın Sosyal Öğrenme Kuramı

Bandura (1977) ise öğrenmenin yalnızca doğrudan deneyim yoluyla değil, aynı zamanda başkalarını gözlemleme, model alma ve bu modellerin davranış sonuçlarını gözlemleme yoluyla da gerçekleştiğini savunur. Çocuklar, gözlemledikleri davranışları zihinsel olarak işlemekten geçirir ve uygun bulduklarını kendi davranış repertuarlarına dahil ederler. Bu açıdan *Ters Yüz* filmi, çocukların duygularla baş etme, onları ifade etme ve düzenleme biçimlerini modelleyerek dolaylı bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Örneğin Riley'nin üzüntüsünü bastırmak yerine kabul etmesi ve ailesiyle paylaşması, çocuklar için olumlu bir duygu düzenleme modeli işlevi görür.

Bu iki kuram birlikte ele alındığında, *Ters Yüz* filminin hem duyguların evrensel doğasını somutlaştırdığı hem de çocuklara duygusal ve sosyal beceriler açısından güçlü modeller sunduğu söylenebilir.

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında tasarlanmıştır. Nitel araştırmalar, olguların doğal ortamında anlamlandırılmasına ve yorumlanmasına olanak sağlayan esnek bir yapıya

sahiptir (Creswell, 2013; Merriam, 2009). Çalışmada doküman incelemesi deseni kullanılmıştır. Doküman incelemesi, mevcut yazılı, görsel ya da işitsel materyallerin sistematik biçimde incelenmesi yoluyla araştırma sorularına yanıt aramayı amaçlayan bir yöntemdir (Yıldırım & Şimşek, 2018).

Bu doğrultuda araştırmanın dokümanını, 2015 yılında Pixar Animation Studios tarafından üretilen ve Walt Disney Pictures tarafından yayımlanan *Ters Yüz (Inside Out)* filmi oluşturmaktadır. Film, sosyal-duygusal öğrenme (SDÖ) ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmiş ve belirlenen kuramsal temeller (Ekman'ın Temel Duygular Kuramı, Bandura'nın Sosyal Öğrenme Kuramı) ışığında çözümlenmiştir.

Veri Kaynağı

Araştırmanın temel veri kaynağı, 2015 yılında vizyona giren *Ters Yüz (Inside Out)* filmidir. Yaklaşık 95 dakika uzunluğundaki film, Riley isimli bir kız çocuğunun taşınma sürecinde yaşadığı duygusal çatışmaları ve bu süreçte zihninde yer alan beş temel duygunun (Neşe, Üzüntü, Öfke, Korku ve Tiksinti) etkileşimlerini konu edinmektedir. Film, doğrudan Paul Ekman'ın temel duygular sınıflandırmasına dayalı olarak hazırlanmıştır (Ekman, 1992; Ekman, 2003). Çalışmada filmin tamamı incelenmiş; özellikle Riley'nin duygusal farkındalık, duygu düzenleme, aile ilişkileri ve sosyal çevreyle etkileşimini konu alan sahneler analiz kapsamına alınmıştır.

Veri Analizi

Araştırmada elde edilen veriler, betimsel içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Betimsel içerik analizi, önceden belirlenen kuramsal temalara göre verilerin incelenmesine, düzenlenmesine ve bulguların açık biçimde sunulmasına imkân tanır (Krippendorff, 2018).

Bu çalışmada analiz süreci şu aşamalardan oluşmuştur:

1. Filmin tamamı izlenmiş, SDÖ ile ilişkili sahneler belirlenmiş ve araştırmacı tarafından not edilmiştir.
2. Belirlenen sahneler, CASEL'in (2020) tanımladığı sosyal-duygusal öğrenmenin beş boyutu (öz-farkındalık, öz-yönetim, sosyal farkındalık, ilişki kurma, sorumlu karar verme) çerçevesinde ön kodlamaya tabi tutulmuştur.
3. Kodlama sürecinde Ekman'ın temel duygular yaklaşımı ve Bandura'nın gözlem yoluyla öğrenme ilkeleri dikkate alınmıştır.
4. Kodlanan veriler tematik olarak düzenlenmiş, her bir SDÖ boyutuna karşılık gelen sahneler bulgular bölümünde ayrıntılı biçimde sunulmuştur.

BULGULAR

1. Film, çocuklara öz-farkındalık becerisi kazandırma açısından nasıl bir içerik sunmaktadır?

Analiz sonucunda, filmde öz – farkındalık becerisine ilişkin sahnelerle ilişkin bulgular Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Öz-Farkındalık Boyutuna İlişkin Bulgular

Sahne / Durum	Kuramsal Yorum
Riley'nin hatıra kürelerinin yalnızca neşeden değil, üzüntüyle birlikte daha değerli hale gelmesi	Ekman'ın (1992) temel duyguların işlevsel olduğunu vurgulayan görüşüyle uyumludur.
Riley'nin yeni evde ilk gece üzgün hissetmesi ve bunu bastırmaya çalışması	Çocuklara olumsuz duyguların da fark edilmesi gerektiğini gösterir.
Riley'nin hokey oynarken hem mutlu hem kaygılı hissetmesi	Aynı anda birden fazla duyguyu fark etmenin öz-farkındalık gelişimine katkı sunduğunu gösterir.

Tablo 1'de görüldüğü üzere *Ters Yüz (Inside Out)* filmi, öz-farkındalık becerisinin gelişimine ilişkin farklı açılardan değerlendirilebilecek sahneler sunmaktadır. Riley'nin hatıra kürelerinin yalnızca neşe duygusuyla değil, üzüntüyle birlikte daha anlamlı ve değerli hale geldiğinin gösterilmesi, duyguların birbirini tamamlayan işlevlere sahip olabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, Ekman'ın (1992) temel duygular kuramıyla uyumlu biçimde yorumlanabilir; çünkü Ekman, olumlu ya da olumsuz olarak sınıflandırılan tüm duyguların yaşamda belirli bir işlev taşıdığını vurgulamaktadır. Filmin bu noktada çocuklara “*yalnızca mutlu olduğumda değerli anılar oluşur*” algısını kırarak, üzüntü gibi olumsuz görülen duyguların da yaşam deneyimlerine katkı sunduğunu göstermeye çalıştığı düşünülebilir.

Buna ek olarak, Riley'nin yeni evde geçirdiği ilk gecede yoğun bir üzüntü yaşaması ve bu duygusunu bastırmaya çabalaması, çocuklara olumsuz duyguların bastırılmasının öz-farkındalık gelişimi açısından sınırlı bir yaklaşım olabileceğini hissettirmektedir. Bu sahne, öz-farkındalık becerisinin yalnızca olumlu duyguların fark edilmesiyle değil, olumsuz duyguların kabul edilmesiyle de gelişebileceğini göstermesi bakımından dikkate değer bulunabilir. Ayrıca Riley'nin hokey sahnesinde aynı anda hem mutlu hem de kaygılı hissetmesi, öz-farkındalığın tek bir duyguya indirgenemeyeceğini, aksine bireyin karmaşık ve eş zamanlı duyguları fark edebilmesinin de bu becerinin önemli bir boyutunu oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Riley'nin duygularını fark etme biçimi ve bunlarla başa çıkma çabaları, izleyiciler için dolaylı bir öğrenme ortamı oluşturabilmektedir. Çocuklar, Riley'nin yaşadığı deneyimleri gözlemleyerek kendi duygularına yönelik farkındalık geliştirme olasılığına sahip olabilirler. Bu bağlamda film, öz-farkındalığın doğrudan öğretilmesinden ziyade dolaylı biçimde öğrenilmesine katkı sunabilecek bir model olarak değerlendirilebilir. Ayrıca Riley'nin farklı duygu deneyimlerini yaşaması ve bunlarla başa çıkmaya çalışması, çocukların benzer yaşantılarla özdeşim kurarak kendi duygularını tanımlarına aracılık edebilir.

Sonuç olarak, filmdeki sahneler öz-farkındalık boyutuna ilişkin çeşitli ipuçları sunmakta; her bir sahne çocukların duygularını tanıma, kabul etme ve karmaşık duygu deneyimlerini anlamlandırma süreçlerine destek olabilecek örnekler barındırmaktadır. Bu durum, öz-farkındalık becerisinin çok boyutlu bir yapı olduğunu ve yalnızca olumlu duyguların değil, olumsuz duyguların da bu gelişim sürecinde anlamlı bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

2. Filmde öz-yönetim (duyguların ve davranışların kontrolü) ile ilgili hangi örnekler yer almaktadır?

Analiz sonucunda, filmde öz – yönetim becerisine ilişkin sahnelerle ilişkin bulgular Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Öz-Yönetim Boyutuna İlişkin Bulgular

Sahne / Durum	Kuramsal Yorum
Riley’nin yeni okulda kendini tanıtırken ağlaması	Duygularını kontrol edememesi, öz-yönetimde güçlük yaşadığını gösterir.
Riley’nin Minnesota’ya dönmek için gizlice otobüse binmesi	Dürtüsel ve sağlıksız bir başa çıkma davranışı örneğidir.
Riley’nin ailesine duygularını açıklaması ve ağlayarak rahatlaması	Bandura’nın (1977) sosyal öğrenme kuramına göre duyguların paylaşımı, sağlıklı öz-düzenleme modeli olur.

Tablo 2’de görüldüğü üzere *Ters Yüz (Inside Out)* filmi, öz-yönetim becerisinin gelişimine ilişkin çeşitli örnek sahneler içermektedir. Riley’nin yeni okulda kendini tanıtmaya sahnesinde ağlaması, öz-yönetim açısından önemli bir ipucu sunmaktadır. Çocuğun topluluk önünde kendini ifade ederken duygularını kontrol edememesi, öz-düzenleme becerilerinin henüz gelişim sürecinde olabileceğine işaret etmektedir. Bu sahne, özellikle yeni bir çevreye uyum sağlamaya çalışan çocukların yaşadığı kaygı, korku ve üzüntü gibi duyguların, öz-yönetim üzerinde belirleyici olabileceğini düşündürmektedir. Bu bağlamda film, çocukların duygularını bastırmak yerine ifade etmelerinin, öz-yönetimin gelişiminde rol oynayabileceğini dolaylı biçimde göstermektedir.

Benzer şekilde Riley’nin Minnesota’ya dönmek amacıyla gizlice otobüse binmesi, öz-yönetim bağlamında dürtüsel ve sağlıksız bir davranış örneği olarak değerlendirilebilir. Bu karar, çocukların duygusal baskı altında verdikleri ani tepkilerin bazen sağlıksız sonuçlara yol açabileceğini göstermesi açısından anlamlı bulunabilir. Ancak burada Riley’nin davranışı tamamen olumsuz bir örnek olarak değerlendirilmemelidir; çünkü bu sahne, öz-yönetim becerisinin bir süreç içinde geliştiğini ve çocukların yanlış kararlar üzerinden de öğrenme fırsatına sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Filmin ilerleyen sahnelerinde Riley’nin ailesine duygularını açıklaması ve ağlayarak rahatlaması ise öz-yönetim açısından daha sağlıklı bir başa çıkma stratejisine işaret etmektedir. Bandura’nın (1977) sosyal öğrenme kuramı perspektifinden bakıldığında, Riley’nin bu davranışı, izleyici çocuklar için model olabilecek niteliktedir. Duygularını bastırmak yerine ifade eden Riley, çocuklara öz-yönetimin yalnızca duyguları kontrol etmek değil, aynı zamanda onları güvenli bir ortamda paylaşarak rahatlamak anlamına da gelebileceğini göstermektedir. Bu durum, çocuklara duygusal zorluklarla başa çıkarken alternatif stratejiler geliştirme konusunda dolaylı öğrenme fırsatı sunabilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde film, öz-yönetim becerisinin tek bir davranışla değil, süreç içinde gelişen ve değişen bir yetkinlik olduğunu vurgulayan sahneler içermektedir. Riley’nin bir yandan sağlıksız başa çıkma davranışları sergilemesi (örneğin kaçma girişimi), diğer yandan duygularını ailesiyle paylaşarak rahatlaması, öz-yönetim becerisinin gelişimsel yönüne dikkat çekmektedir. Bu bağlamda *Ters Yüz* filmi, öz-yönetim boyutuna ilişkin doğrudan öğretici olmasa da çocukların benzer yaşantılar üzerinden özdeşim kurabilecekleri ve kendi davranışlarını değerlendirme fırsatı bulabilecekleri sahneler sunmaktadır.

3. Film, çocuklarda sosyal farkındalık ve empati becerilerini nasıl desteklemektedir?
Analiz sonucunda, filmde sosyal farkındalık ve empati becerilerini sahnelerle ilişkin bulgular Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Sosyal Farkındalık Boyutuna İlişkin Bulgular

Sahne / Durum	Kuramsal Yorum
Yemek sahnesinde anne ve babanın iç dünyalarının da gösterilmesi	Başkalarının da duygu dünyaları olduğunu somutlaştırarak empatiyi güçlendirir.
Riley'nin annesinin yeni evde mutlu görünmek için kendini zorladığını fark etmesi	Çocuklara duyguların yüz ifadelerinden anlaşılabilirliğini öğretir.
Riley'nin okulda arkadaşlarının ona şaşkınlıkla bakmasını fark etmesi	Sosyal işaretleri okuma becerisini geliştirir; empati sürecini başlatır.

Tablo 3'te görüldüğü üzere *Ters Yüz (Inside Out)* filmi, sosyal farkındalık becerisinin gelişimine ilişkin değerlendirilebilecek çeşitli sahneler içermektedir. Yemek sahnesinde Riley'nin anne ve babasının iç dünyalarının da izleyiciye gösterilmesi, çocuklara başkalarının da tıpkı kendileri gibi farklı duygular deneyimlediğini görsel olarak sunmaktadır. Bu durum, empati gelişimi açısından anlamlı bulunabilir; çünkü çocuklar yalnızca kendi duygularını değil, çevresindeki bireylerin de duygularını fark edebilme becerisi kazandıklarında sosyal farkındalıklarının güçlendiği söylenebilir. Bu sahne ayrıca, aile içi iletişimde görünür olmayan duyguların da önemli rol oynayabileceğine işaret etmektedir.

Riley'nin annesinin yeni evde mutlu görünmek için kendini zorladığını fark etmesi de sosyal farkındalık açısından dikkate değer bir örnektir. Çocukların başkalarının yüz ifadeleri, jestleri veya davranışları üzerinden onların duygusal durumlarını anlamaya çalışması, sosyal bilişin temelini oluşturmaktadır. Bu bağlamda söz konusu sahne, çocuklara başkalarının dışı vurduğu davranışlarla içsel duygu durumları arasında farklılık olabileceğini düşündürmekte ve sosyal farkındalığın yalnızca yüzeysel gözlemle sınırlı kalmaması gerektiğini ima etmektedir.

Buna ek olarak, Riley'nin okulda yeni arkadaşlarının ona şaşkınlık ve merakla baktığını fark etmesi, akran ilişkileri bağlamında sosyal farkındalığa katkı sağlayabilecek bir deneyim olarak değerlendirilebilir. Riley, bu süreçte kendi duygu durumunun başkalarının tepkilerini etkilediğini görmüş ve sosyal ilişkilerde karşılıklı duygu aktarımının önemini kavramaya başlamıştır. Bu sahne, özellikle çocuklara başkalarının duygu ifadelerinin sosyal ortamlarda nasıl anlam kazandığını ve bu farkındalığın iletişimi kolaylaştırabileceğini gösterebilir.

Riley'nin çevresindeki bireylerin duygularını fark etmesi, izleyiciler için dolaylı bir öğrenme modeli işlevi görebilir. Çocuklar, Riley'nin başkalarının duygu durumlarını anlama çabasını gözlemleyerek sosyal farkındalığın önemine dair farkındalık geliştirme olasılığına sahiptir. Ayrıca filmde kullanılan görsel metaforlar (örneğin anne ve babanın zihinsel sahnelerinin gösterilmesi), çocukların empati becerilerini daha somut biçimde kavrayabilmelerine aracılık edebilir.

Sonuç olarak film, sosyal farkındalık boyutuna ilişkin olarak çocuklara başkalarının da duygu dünyalarının bulunduğunu, dışsal ifadelerle içsel duygular arasında farklılık olabileceğini ve sosyal ilişkilerde empati becerisinin önem taşıdığını gösterebilecek çeşitli sahneler sunmaktadır. Bu bağlamda film, sosyal farkındalık becerisinin çocukların günlük yaşantılarında nasıl şekillenebileceğine dair ipuçları sağlamaktadır.

4. Film, çocuklara sağlıklı ilişkiler kurma ve sürdürme konusunda nasıl modeller sunmaktadır?

Analiz sonucunda, filmde sağlıklı ilişkiler kurma ve sürdürme becerilerini sahnelerle ilişkin bulgular Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. İlişki Kurma Becerilerine İlişkin Bulgular

Sahne / Durum	Kuramsal Yorum
Riley’nin yeni okulunda ağlaması	Sosyal kırılabilirlik; ilişkilerin başında zorluk yaşanabileceğini gösterir.
Riley’nin eski arkadaşlarını özlemesi ve çevrim içi görüşmesi	Arkadaşlık bağlarının sürekliliğini, mesafeye rağmen korunabileceğini öğretir.
Riley’nin filmin sonunda ailesiyle sarılması ve duygularını paylaşması	Sağlıklı ilişkilerin temelinde duyguların paylaşımı olduğuna vurgu yapar; aileyi sosyal destek kaynağı olarak gösterir.

Tablo 4’te görüldüğü üzere *Ters Yüz (Inside Out)* filmi, ilişki kurma becerilerinin gelişimine yönelik farklı durumları yansıtan sahneler içermektedir. Riley’nin yeni okulda kendini tanıtmaya esnasında ağlaması, sosyal ilişkilerde kırılabilirliklerin olabileceğini göstermesi açısından dikkate değerdir. Çocukların yeni ortamlarda kaygı ve üzüntü yaşamaları, onların akran ilişkilerinde başlangıçta zorlanabileceklerini düşündürmektedir. Bu sahne, özellikle çocuklara “sosyal ilişkiler her zaman kolay başlamayabilir” mesajını dolaylı biçimde aktarabilir.

Riley’nin eski arkadaşlarını özlemesi ve onlarla çevrim içi görüşmesi, ilişki kurma becerisinin yalnızca yeni ilişkilerle sınırlı olmadığını; geçmiş bağların da önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Çocuklar bu sahnede, ilişkilerin zaman ve mekân değişse dahi sürdürülebileceğini gözlemleyebilirler. Bu durum, sosyal bağların devamlılığına ve özlemin de ilişkilerin bir parçası olduğuna işaret etmektedir. Özellikle çocuklara “ilişkiler fiziksel mesafe nedeniyle kesilmek zorunda değildir” algısını kazandırabilecek bir sahne olarak değerlendirilebilir.

Filmin sonunda Riley’nin ailesiyle sarılması ve duygularını paylaşması ise ilişki kurma becerilerinin gelişiminde aile desteğinin belirleyici bir unsur olabileceğini düşündürmektedir. Bu sahne, aile içi iletişimin güvenli bir ortam sunduğunu ve çocukların duygularını paylaşabildiklerinde ilişkilerinin güçlenebileceğini işaret etmektedir. Aileyle kurulan bu tür bağların, çocukların sosyal çevrelerinde daha sağlıklı ilişkiler geliştirmelerine de dolaylı katkı sağlayabileceği düşünülebilir.

Bandura’nın (1977) sosyal öğrenme kuramı bağlamında bakıldığında, Riley’nin ilişkilerinde yaşadığı bu deneyimler izleyici çocuklar için bir model işlevi görebilir. Riley’nin hem kırılabilirliklerini yaşaması hem de ailesiyle kurduğu güvenli bağ, çocukların sosyal ilişkilerinde farklı örnekler üzerinden öğrenme fırsatı sunmaktadır. Filmdeki bu süreç, ilişki kurma becerisinin yalnızca güçlü iletişim anlarından değil, aynı zamanda kırılabilirliklerden de öğrenilebileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak film, ilişki kurma becerileri bağlamında çocuklara farklı türden örnekler sunmaktadır. Bu örnekler, ilişkilerde başlangıçta zorluk yaşanabileceğini, eski bağların özlemle de olsa sürdürülebileceğini ve güven ortamı sağlayan aile ilişkilerinin çocukların sosyal gelişiminde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Bu yönüyle film, ilişki kurma becerisinin çok boyutlu doğasına dikkat çeken sahneler içermektedir.

5. Filmde sorumlu karar verme süreçleri hangi sahnelerle yansıtılmaktadır?

Analiz sonucunda, filmde sorumlu karar verme süreçleri becerilerini sahnelerle ilişkin bulgular Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5. Sorumlu Karar Vermeye İlişkin Bulgular

Sahne / Durum	Kuramsal Yorum
Riley’nin hokey takımına katılmaya çalışması	Yeni ortama uyum sağlamak için sorumlu bir karar örneğidir.
Riley’nin odasını toplamak istememesi	Küçük sorumluluklardan kaçınma davranışıdır.
Riley’nin otobüse binip ailesinden kaçması	Yanlış karar örneği; duygusal baskı altında alınmış sağlıklı bir seçimdir.
Riley’nin otobüsten geri dönerek ailesine duygularını açıklaması	Doğru ve sorumlu karar; kararların değiştirilebileceğini ve duygularla ilişkili olduğunu öğretir.

Tablo 5’te görüldüğü üzere *Ters Yüz (Inside Out)* filmi, sorumlu karar verme becerisinin farklı yönlerini yansıtan çeşitli sahneler içermektedir. Riley’nin hokey takımına katılmaya çalışması, yeni bir çevreye uyum sağlamak için girişimde bulunma örneği olarak değerlendirilebilir. Bu durum, çocukların sosyal ortamlarda kendilerine ait kararlar alarak uyum süreçlerini kolaylaştırmaya çalıştıklarını düşündürmektedir. Hokey sahnesi, özellikle sorumlu karar vermenin yalnızca akademik ya da aile içi konularla sınırlı olmadığını; sosyal yaşamın da bu sürece dahil olabileceğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Riley’nin odasını toplamak istememesi ise küçük sorumluluklardan kaçınma davranışı olarak yorumlanabilir. Çocukların gündelik yaşamda yerine getirmeleri beklenen basit görevlerden uzak durmaları, onların gelişimsel süreçleri açısından olağan görülebilir. Ancak bu tür durumlar, sorumlu karar verme becerisinin yalnızca büyük ve kritik seçimlerle değil, günlük yaşamda verilen küçük kararlarla da ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Bu sahne, sorumluluk bilincinin küçük davranışlarla şekillendiğine işaret eden bir örnek sunmaktadır.

Riley’nin ailesinden gizli biçimde otobüse binmesi, duygusal baskı altında alınmış sağlıklı bir karar örneği olarak değerlendirilebilir. Bu davranış, çocuklara duyguların karar verme sürecini doğrudan etkileyebileceğini gösterebilecek niteliktedir. Ancak Riley’nin bu yanlış kararından dönmesi ve ailesine duygularını açıklaması, sorumlu karar verme becerisinin gelişimine işaret eden bir dönüşüm sahnesi olarak öne çıkmaktadır. Çocuklara bu durum, yanlış bir karar alındığında bile geri adım atmanın ve sorumluluk üstlenmenin mümkün olabileceğini düşündürülebilir.

Bandura’nın (1977) sosyal öğrenme kuramı açısından bakıldığında, Riley’nin karar alma süreçleri izleyici çocuklar için dolaylı öğrenme fırsatları sunabilir. Riley’nin hem yanlış kararları (kaçma girişimi, sorumluluktan kaçınma) hem de doğru kararları (geri dönme, ailesiyle duygularını paylaşma) izleyicilere gösterilmekte ve böylece farklı davranışların sonuçları hakkında çıkarım yapma imkânı sunulmaktadır. Bu bağlamda film, karar verme sürecinde duyguların etkisini ve yanlış kararlardan geri dönmenin sorumlu bir davranış olabileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde film, sorumlu karar verme boyutunda çocuklara yalnızca olumlu örnekler değil, aynı zamanda yanlış kararlardan öğrenme fırsatları da sunmaktadır. Bu yönüyle film, karar verme süreçlerinin tek boyutlu değil; duygusal baskılar, sosyal ilişkiler ve aile içi etkileşimlerle şekillenen çok katmanlı bir yapıya sahip olabileceğini işaret etmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada *Ters Yüz (Inside Out, 2015)* filmi, sosyal-duygusal öğrenme (SDÖ) ilkeleri bağlamında incelenmiştir. Bulgular, filmin öz-farkındalık, öz-yönetim, sosyal farkındalık, ilişki kurma becerileri ve sorumlu karar verme boyutlarına ilişkin çeşitli örnekler sunduğunu göstermektedir. Filmde Riley'nin duygularını fark etmesi, olumsuz duyguların da yaşamın bir parçası olduğuna işaret etmesi ve ailesiyle paylaşarak öz-düzenleme sağlaması, sosyal-duygusal gelişim literatüründe vurgulanan bulgularla paralellik göstermektedir. Nitekim Denham & Burton (2003) çocuklarda duyguların tanınması ve yönetilmesinin, erken dönemde sosyal-duygusal becerilerin gelişiminde kritik rol oynadığını ortaya koymuştur.

Araştırmada öne çıkan sahnelerden biri, üzüntünün neşe kadar değerli olduğunun fark edilmesidir. Bu bulgu, olumsuz duyguların bastırılması yerine kabul edilmesinin öz-farkındalık için önemli olduğunu belirten literatürle örtüşmektedir (Gross, 2015; Saarni, 1999). Ayrıca Riley'nin duygularını ailesiyle paylaşarak rahatlaması, öz-yönetim becerisinin sosyal destek mekanizmalarıyla güçlenebileceğini düşündürmektedir. Benzer biçimde, Rivers vd. (2013) öğrencilerin duygularını ifade etmelerinin öz-düzenleme stratejilerini desteklediğini belirtmektedir.

Filmde sosyal farkındalık ve empatiye ilişkin sahneler, özellikle çocukların başkalarının duygularını fark etme süreçlerine odaklanmaktadır. Yemek sahnesinde Riley'nin anne ve babasının iç dünyalarının da gösterilmesi, çocuklara empati becerisinin görselleştirilmiş bir anlatımını sunmaktadır. Bu durum, Eisenberg vd. (2010) tarafından empati gelişiminin sosyal ilişkilerde temel bir bileşen olduğunun vurgulanmasıyla örtüşmektedir. Ayrıca ilişki kurma becerilerine yönelik bulgular, aile içi iletişimin güvenli bir ortam sunduğunu göstermektedir. Bu, çocukların sosyal-duygusal gelişiminde aile bağlarının kritik öneme sahip olduğunu belirten araştırmalarla paraleldir (Morris vd., 2007).

Sorumlu karar verme boyutunda elde edilen bulgular, kararların duygulardan bağımsız olmadığına işaret etmektedir. Riley'nin yanlış bir karar alıp (otobüse binmek), daha sonra bundan dönmesi ve duygularını ailesiyle paylaşması, çocukların karar verme süreçlerinin duygusal deneyimlerle şekillendiğini düşündürmektedir. Bu durum, çocukların sağlıklı karar verme süreçlerinde duygusal farkındalığın önemli rol oynadığını vurgulayan çalışmaları destekler niteliktedir (Weissberg vd. 2015; Payton vd., 2000).

Genel olarak tartışma bulguları, *Ters Yüz* filminin doğrudan bir eğitim materyali olmamasına rağmen sosyal-duygusal öğrenme bağlamında sınıf içinde veya aile ortamında kullanılabilecek potansiyel bir araç olabileceğine işaret etmektedir. Bu sonuç, medya ürünlerinin çocukların sosyal-duygusal gelişiminde destekleyici rol oynayabileceğini belirten Hoffner & Levine (2005) ile Farnsworth & Broom'un (2020) çalışmalarını hatırlatmaktadır.

Sonuç

Bu araştırmanın sonuçları, *Ters Yüz (Inside Out)* filminin sosyal-duygusal öğrenmenin beş boyutuna yönelik çeşitli örnekler sunduğunu göstermektedir. Filmde öz-farkındalık, öz-yönetim, sosyal farkındalık, ilişki kurma becerileri ve sorumlu karar verme becerilerinin farklı sahnelerle görünür hale geldiği belirlenmiştir. Bu durum, Ekman'ın (1992) temel duygular kuramı ve Bandura'nın (1977) sosyal öğrenme kuramı çerçevesinde değerlendirildiğinde, filmin çocuklara duygusal deneyimlerini anlamlandırma ve sosyal ilişkilerinde farklı davranış modelleri gözlemleme fırsatı sunabileceğini düşündürmektedir.

Öneriler

1. Eğitim Ortamları İçin: Öğretmenler, *Ters Yüz* filmini derslerde kullanarak öğrencilerin duygularını tanımlarına ve bu duyguların işlevlerini tartışmalarına fırsat verebilirler. Özellikle

duyguların kabulü ve empati geliştirme etkinliklerinde filminden sahnelerden yararlanılabilir (CASEL, 2020; Jones vd., 2017).

2. Aileler için: Aileler filmi çocuklarıyla birlikte izleyerek duygular üzerine konuşma başlatabilirler. Bu tür paylaşımlar, aile içi iletişimi ve sosyal destek mekanizmalarını güçlendirebilir (Morris vd., 2007).

3. Araştırmacılar için: İlerleyen çalışmalarda filmin çocuklar üzerindeki doğrudan etkileri deneysel veya yarı-deneysel yöntemlerle incelenebilir. Böylece filmin yalnızca teorik değil, pratik düzeydeki katkıları da daha somut biçimde ortaya konulabilir.

4. Medya ve Eğitim İlişkisi: Medya ürünlerinin çocukların sosyal-duygusal gelişiminde dolaylı öğrenme fırsatları sunduğu göz önünde bulundurularak, eğitimcilerin bu tür materyalleri ders planlarına entegre etmeleri önerilebilir (Hoffner & Levine, 2005; Farnsworth & Broom, 2020).

Kaynakça

- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- CASEL. (2020). *What is SEL?*. Collaborative for Academic, Social, and Emotional Learning. <https://casel.org/what-is-sel/>
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). Sage.
- Denham, S. A., & Burton, R. (2003). *Social and emotional prevention and intervention programming for preschoolers*. Springer.
- Denham, S. A., Bassett, H. H., & Zinsser, K. (2019). Early childhood teachers as socializers of young children's emotional competence. *Early Childhood Education Journal*, 47(5), 593–604.
- Durlak, J. A., Weissberg, R. P., Dymnicki, A. B., Taylor, R. D., & Schellinger, K. B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions. *Child Development*, 82(1), 405–432.
- Eisenberg, N., Spinrad, T. L., & Eggum, N. D. (2010). Emotion-related self-regulation and its relation to children's maladjustment. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6(1), 495–525.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6(3–4), 169–200.
- Ekman, P. (2003). *Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life*. Times Books.
- Farnsworth, B., & Broom, C. (2020). Exploring Inside Out as a tool for teaching emotional literacy. *Journal of Media Literacy Education*, 12(1), 93–106.
- Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1–26.
- Hoffner, C., & Levine, K. J. (2005). Enjoyment of mediated fright and violence: A meta-analysis. *Media Psychology*, 7(2), 207–237.
- Jones, S. M., Brush, K. E., Bailey, R., Brion-Meisels, G., McIntyre, J., Kahn, J., Nelson, B., & Stickle, L. (2017). *Navigating social and emotional learning from the inside out*. Harvard Graduate School of Education.
- Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4th ed.). Sage Publications.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.

- Morris, A. S., Silk, J. S., Steinberg, L., Myers, S. S., & Robinson, L. R. (2007). The role of the family context in the development of emotion regulation. *Social Development, 16*(2), 361–388.
- Payton, J., Weissberg, R. P., Durlak, J. A., Dymnicki, A. B., Taylor, R. D., Schellinger, K. B., & Pachan, M. (2000). The positive impact of social and emotional learning for kindergarten to eighth-grade students. CASEL.
- Rivers, S. E., Brackett, M. A., Reyes, M. R., Elbertson, N. A., & Salovey, P. (2013). Improving the social and emotional climate of classrooms: A cluster randomized controlled trial testing the RULER approach. *Prevention Science, 14*(1), 77–87.
- Saarni, C. (1999). *The development of emotional competence*. Guilford Press.
- Towbin, M. A., Haddock, S. A., Zimmerman, T. S., Lund, L. K., & Tanner, L. R. (2003). Images of gender, race, age, and sexual orientation in Disney feature-length animated films. *Journal of Feminist Family Therapy, 15*(4), 19–44.
- Weissberg, R. P., Durlak, J. A., Domitrovich, C. E., & Gullotta, T. P. (2015). Social and emotional learning: Past, present, and future. In J. A. Durlak, C. E. Domitrovich, R. P. Weissberg, & T. P. Gullotta (Eds.), *Handbook of social and emotional learning: Research and practice* (pp. 3–19). Guilford Press.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2018). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (11. baskı). Seçkin Yayıncılık.

KURALLIK STRESİNDE BİTKİLERİN FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER TEPKİLERİ

Doktor Öğretim Üyesi, BERNA BAŞ

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 27310, Şehitkamil,
Gaziantep

ORCID ID: 0000-0003-2455-2849

ÖZET

İçinde bulunduğumuz yüzyılda tarımsal verimliliği ve küresel gıda güvencesini etkileyen en önemli tehdit kuraklıktır. Kuraklık stresi bitkilerde metabolik aktiviteleri moleküler düzeyde değiştirerek bitkilerin biyolojik fonksiyonlarını ve gelişimlerini sınırlamaktadırlar. Bitkiler de bu abiyotik stresi kontrol edebilmek için çeşitli moleküler mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bitki sistemlerinde son derece karmaşık ve entegre bir düzen içinde yönetilen kuraklık tolerans mekanizması bir tek gen değil, birçok genin kontrolü altındadır. Kuraklık stresinde hücrel homeostazı korumak için bitkilerin geliştirdiği toleranslık mekanizması birbirini takip eden üç temel fazda incelenebilir; bu süreçlerin ilki abiyotik stres uyaranlarının spesifik transmembran reseptörleri tarafından algılanması, ikincisi sekonder haberciler ve protein-kinaz ardışık reaksiyonlar dizisi yoluyla kimyasal modifikasyonlar ve hücre-içi iletişimle sinyal transdüksiyonun gerçekleştirilmesi, üçüncüsü ise kuraklığa karşı direnç fenotipini oluşturan transkripsiyonel düzenlenme, osmolit birikimi ve antioksidant enzim aktivasyonu gibi multigenik moleküler faktörlerin eş zamanlı olarak teşvik edilmesidir. Kuraklık stresıyla gelişen ozmotik basınç artışı, membran ve endozomal membran hasarları, CO₂ alımının azalmasıyla metabolit sentezinin engellenmesi, kloroplastların zarar görmesi, hücrel enerjinin azalması, oksidatif stres moleküllerinin artışı ve sonuçta biyokütlenin azalmasıyla total verim kaybı kuraklık stresinin en önemli sonuçlarıdır. Buna karşı bitkilerde genlerin ifade seviyelerini değiştirerek su basıncını ayarlayacak şekilde ozmotik düzenlemeler, çeşitli koruyucu maddelerin sentezi ve antioksidant moleküllerin senteziyle stresin yıkıcı etkilerini hafifletecek mekanizmalar geliştirmektedirler. Kuraklığa tolerant genotiplerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir tarıma destek olmak için kuraklık toleransında işleyen mekanizmaların açığa çıkarılması gerekmektedir. Bu derlemede, çeşitli araştırma çalışmalarının sonuçları değerlendirilerek bitkilerin kuraklığa karşı geliştirdiği fizyolojik ve moleküler tepkiler holistik bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: kuraklık stresi, bitkilerin kuraklık stres fizyolojisi, bitkilerin abiyotik moleküler tepkileri

PHYSIOLOGICAL AND MOLECULAR RESPONSES OF PLANTS TO DROUGHT STRESS

In this century, the most significant threat affecting agricultural productivity and global food security is drought. Drought stress alters metabolic activities at the molecular level in plants, restricting their biological functions and developmental process. Plants have developed various molecular mechanisms to control the abiotic stress. The drought tolerance mechanism, managed in a highly complex and integrated manner within plant systems, is controlled not by a single gene, but by polygenic systems. The tolerance mechanism developed by plants to maintain cellular homeostasis under drought stress can be addressed in three fundamental

phases: the first is the detection of abiotic stress stimuli by specific transmembrane receptors; the second is the realization of signal transduction through chemical modifications and intracellular communication via a series of secondary messenger and protein-kinase sequential reactions; and the third is the simultaneous stimulation of multigenic molecular factors such as transcriptional regulation, osmolyte accumulation, and antioxidant enzyme activation, which constitute the drought resistance phenotype. The most significant consequences of drought stress are increased osmotic pressure, membrane and endosomal membrane damage, inhibition of metabolite synthesis due to decreased CO₂ uptake, chloroplast dysfunction, reduced cellular energy, increased oxidative stress molecules, and ultimately, a decline in biomass leading to total yield loss. In response, plants develop mechanisms to mitigate the destructive effects of stress by altering gene expression levels to regulate water pressure through osmotic regulation, synthesis of various protective substances, and synthesis of antioxidant molecules. To develop drought-tolerant genotypes and support sustainable agriculture, it is necessary to uncover the mechanisms at work in drought tolerance. This review evaluates the results of various research studies and addresses the physiological and molecular responses of plants to drought from a holistic perspective.

Keywords: drought stress, drought stress physiology of plants, abiotic molecular responses of plants

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz 21. yy. 'ın en önemli iklim felaketlerinin başında küresel ısınma ve bunun sonucu su kıtlığından kaynaklanan kuraklık yer almaktadır. Tarımsal verimi ve gıda güvencesini sınırlayan en önemli etken de kuraklıktır. Kuraklığın bitki gelişimi ile verimine olan olumsuz etkileriyle mücadele etmek için kurakçıl bitkilerin su kullanım verimliliğinin, genetik özelliklerinin ve ayrıca kurak toprak-mikroorganizma karakterlerinin derin bir şekilde araştırılması gerekir. Kuraklığa dayanıklı bitki seleksiyonu ve yetiştiriciliğinde bilgisayar destekli büyük verilerin analizi, çeşitli ülkelerde yapılan araştırma sonuçlarının önerileri ve kurak iklim bitki yetiştirme yönetim politikalarının acilen oluşturulması gerekmektedir. Aksi halde tarımın, gıda arz 'ının, ekosistemin ve insan sağlığının geri-dönüşümsüz hasar alması kaçınılmaz görünmektedir.

Kuraklık stresi bitkilerde kök ve yaprak su potansiyeli, mineral besin maddeleri, su alımı ve su miktarı, CO₂ alımı, iyon homeostazı, fotosentez, çeşitli metabolitlerin sentezine zarar verdiği için fizyolojik ve moleküler seviyede ozmoz ve turgor basıncı, stoma morfolojisi, fotosentez, oksidatif stres, hormon dengesi, gen ifade düzeyi ve sinyal iletim ağ sisteminde radikal değişimlere neden olmaktadır (Khan & ark. 2018; Dos Santos & ark. 2022). Bu gelişmelerin sonucunda da bitkilerde gelişme geriliği, yaşlanma, biyokütlede azalma ve çiçek/meyve dökümünde artışların sonucunda total verim azalması meydana gelecektir (Şekil 1).

Bitkiler kuraklıkla mücadelede susuzluğa uyum gösterecek tarzda hücrel ve moleküler mekanizmalar geliştirmektedirler. Bitkilerin bir etkiye tepki geliştirmeleri için önce biyotik/abiyotik sinyalleri algılaması ve ardından fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde stres tepkilerini aktif hale geçirmesi gerekir. Bu kapsamda su kullanım verimliliğini artıracak şekilde bitkiler kök morfolojileri, stoma yapısı, fotosentez, hormonal denge ve reaktif oksijen türevlerini (ROS) kapsayan kuraklığa uyum stratejileri geliştirilerek evrimleşmişlerdir (Ichimura & ark. 2002; Danquah & ark. 2014; Yoshida & ark. 2014; Dong & ark. 2015; Fang & Xiong 2015; Li & ark. 2015; Riemann & ark. 2015; Ullah & ark. 2017).

Bitkilerin kuraklığa tolerans mekanizması oldukça karmaşık olup özellikle moleküler biyolojiyle ilgili veri kayıtları kuraklığa adaptasyon mekanizmalarının anlaşılmasına önemli katkılar sunmaktadır. Kuraklıkla ilgili gen-ifade seviyelerinde değişimlerle adaptasyon süreci geçiren kuraklığa dayanıklı bitkiler, öncelikle morfolojik ve gelişme düzenlerini yeniden organize ederek değişimler yapmaktadırlar (Dos Santos & ark. 2022; Cao & ark. 2024). Kuraklık stresi bitkilerin yaprak yüzey alanı ve fotosentez oranını azaltarak fotosenteze zarar vermektedir (Lawlor 2002; Lawlor & Cornic 2002). Fotosentezin azalması metabolik hasarlar meydana getirmektedir. Su stresi altında olan bitkilerde stomanın kapanmasından dolayı hücre-içi CO₂ oranı sınırlanınca fotosentezin ışık reaksiyonu sırasında elektron transfer sisteminde oluşan ara metabolitler azalmakta ve sonuçta ROS üretimi artış göstermektedir (Lu & ark. 2009; Wilkinson & Davies 2010; Ji & ark. 2011; Wilkinson & ark. 2012). Ancak bu mekanizma sayesinde bitkiler ışık hasarlarına karşı fotosistem kompleksini de korumaya almaktadırlar (Qiao & ark. 2024).

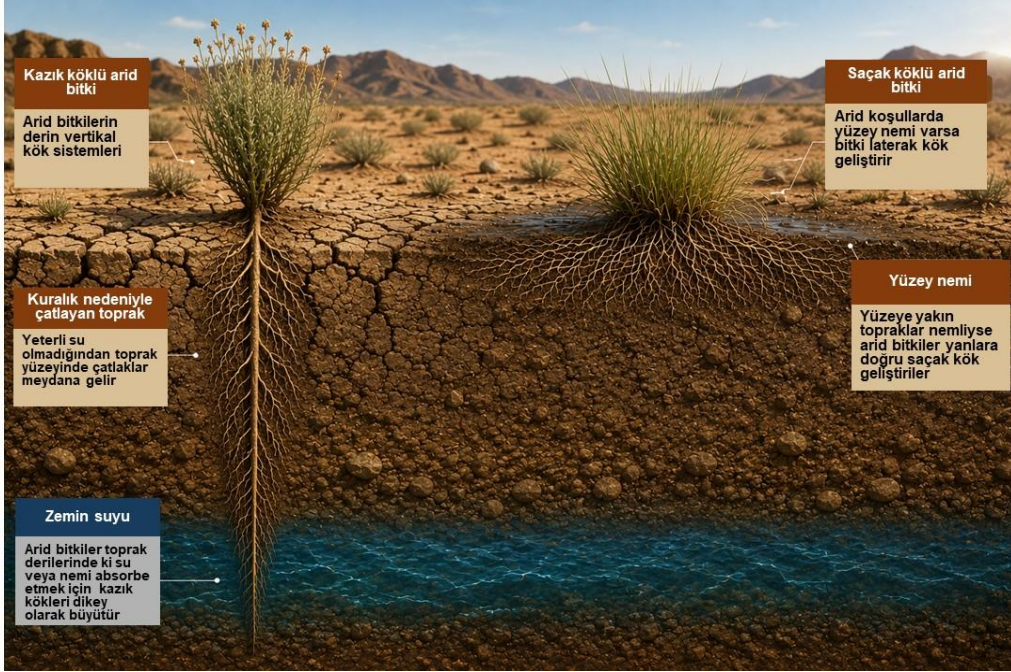


Şekil 1. Kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki fizyolojik ve moleküler etkileri

Kurak koşullarda bitkiler çeşitli ozmotolerant maddeler, şekerler, amino asitler, iyonlar gibi, hidrofilik molekülleri sentezleyerek biriktirmekte ve böylece daha fazla su absorbe etmek için suyu hücre içi alanda tutarak ‘‘hücre su potansiyelini’’ düşük tutmaktadırlar (Sharma & ark. 2019; Ghosh & ark. 2021). Bunun sonucunda kılcal kök sayılarını artırarak kök yüzey alanı genişletmekte olup kuraklığın şiddetine göre lateral kök alanı genişlemekte veya vertikal kök uzaması gerçekleşmektedir (Şekil 2). Toprağın derin katmanlarında su potansiyeli toprak yüzeyine göre daha stabildir bu nedenle yeni gelişen kökler sayesinde daha uzak mesafelerdeki su kaynaklarına ulaşabilmektedirler (Kaur & ark. 2026). Böylece azalan hücre su potansiyeline karşı bitki toprağın derin katmanlarından su çekebilmektedir.

Çağımızın sorunu kuraklık nedeniyle su kaybının bitkilerdeki hücresel etkileriyle ilgili konular son dönemlerde giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bu konuda elde edilen bilgilerin bitkileri

korumak amacıyla nasıl kullanılacağı henüz tam olarak bilinmemektedir. Bu kısa derlemede kurak bitkilerin ksenomorfolojik özellikleri, kuraklıkla ilgili fizyolojileri ve kuraklığa atfedilen genetik karakterlerinin su kıtlığını nasıl yönettikleri konuları özetlenmiştir.



Şekil 2. Kurak dönemde bitkiler köklerini suya doğru yönlendirerek gelişirler

2. BITKİLERİN KURAKLIĞA FIZYOLOJİK TEPKİLERİ

Kuraklık stresindeki bitkilerin stoma yoğunluğu ve morfolojileri stresin uzun veya kısa süreli oluşu ve genotipe göre değişebilmektedir. Küçük stomalar değişken çevreye daha hızlı tepki vermektedirler (Kardiman & Ræbild 2018). Bitkiler çoğunlukla suyu daha verimli kullanmak için transpirasyonla su kaybını önlemek amacıyla daha küçük ve daha yoğun stoma geliştirebilmekte, bazen de *Viburnum* türlerinde olduğu gibi stoma sayısını azaltabilmektedir (Tribulato & ark. 2019). Stoma sayısı daha az olan genotipler daha iyi su kullanım verimiyle kuraklığı tolere edebilmektedir (Bertolino & ark. 2019). Buna ilaveten kurak koşullarda bitkiler stomaları kapattığı için CO₂ girişi de sınırlanmakta ve fotosentez azalmaktadır. Fotosentez ve besin alımı azalınca CO₂ 'e bağlı olan/olmayan asimilasyon ürün miktarları da azalmakta ve bitkilerde total verim kaybı gerçekleşmektedir (Cohen & ark. 2021). Kuraklığın fotosentez üzerindeki esas hasarı ışık-bağlı reaksiyonlarda gerçekleşmektedir. Kloroplastlar aracılığıyla absorbe edilen ışık reaksiyonları büyük ölçüde suya bağlıdır (Flexas & ark. 2004; Qiao & ark. 2024). Işık enerjisi klorofillerde bulunan fotosistem II ve fotosistem I protein kompleksleri tarafından absorbe edilmekte ve her iki sistem birlikte ATP ile NADP üretmektedirler. Fotosentezin karanlık reaksiyonunda gerçekleşen Calvin döngüsünün kritik enzimi Rubisco 'da kuraklığa son derece hassas olduğundan kurak koşullarda hem etkisi azalmakta hem de hem de Rubiskonun substratı ATP/NADP azaldığı için glikoz üretimi de düşmektedir (Flexas & ark. 2004; Qiao & ark. 2024). Kısaca kloroplastlara bağlı fotosentez oranı kurak koşullarda bitkilerin gelişimini önemli oranda etkilemektedir.

Kurağa tolerant bitkiler hücre turgorunu korumak için osmotik basınç ayarlamaları yapmaktadır (Khan & ark. 2018). Osmoz değişen çevreye adaptasyonda hücrenin su kaybını önlemede hayati

öneme sahip fizyolojik bir olaydır. Bunun için bitkiler karbonhidratlar, proteinler, şekerler gibi çeşitli organik eriyik metabolitleri sentezleyerek ve sodyum, potasyum, klor gibi inorganik maddeleri de depolayarak ozmotolerant maddeler olarak kullanılmaktadırlar (Bandeh-Hagh & ark. 2008; Farouk 2011; Slama & ark. 2015). İnorganik ozmolitler iyon pompa sisteminde çalışmaktadırlar (Nieves-Cordones & ark. 2016). Ozmolit moleküller serbest suyu adsorbe ederek hidrasyon kabuğu oluşturmakta ve böylece suyu muhafaza etmektedirler. Kurak koşullarda bitkinin su potansiyeli düşünce ozmotik ayarlamalarla kilit hücrelerin turgor basıncı korunmakta ve yaprak mezofil hücrelerinin kondaktivitesi artırılarak fotosentez korunmaktadır (Khatun & ark. 2021). Buğdayla ilgili yapılan bir çalışmada ozmotik ayarlama kapasitesi yüksek olan genotiplerin total veriminin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Mahmood & ark. 2020).

Kurak koşullarda su kaybı nedeniyle azalan hidrofobik etki, protein denaturasyonuna neden olmakta ve hücre membranıyla diğer endosom membranları yan yana gelerek birbirlerine yaklaşmakta ve membranlar arası füzyona benzer şekilde bir olayla membranların karşılıklı değişimi membranı düzlemsel yapıdan heksagonal yapıya dönüşmektedir (Seddon 1990; Steponkus & ark. 1998). Yapısal bütünlüğü bozulan membranların kondaktivitesi değişmektedir (Steponkus & ark. 1998). Membran hasarları reaktif oksijen türevlerinin miktarını artırmaktadır ve lipid, protein, nükleik asit gibi çeşitli moleküllerde oksidatif hasarlar oluşmaktadır.

2.1 Ozmolit Maddeler

Bitkiler yetersiz su ortamında hayatta kalmak için ozmotik ayarlamalarla turgor basıncını koruyarak fizyolojik ve biyokimyasal olayların sürdürülmesini sağlamak ve böylece solgunluğu önlemeye çalışmaktadırlar. Bitkilerde bulunan ozmotolerant maddelerden bazıları burada örneklenmiştir.

Prolin amino asidi strese tolerant genotiplerde daha fazla biriktiği için stres toleransı ile ilişkilendirilmektedir (Khan & ark. 2025). Hücre yapısını ve proteinleri stabil hale getiren prolin aynı zamanda ROS 'i uzaklaştırdığı için kuraklık döneminde biyosentezi en üst seviyeye çıkmaktadır (Hayat & ark. 2012). Ayrıca prolin katabolizmasından türeyen redükleyici moleküllerle mitokondriyel elektron transfer sisteminde ATP üretilerek hücrenin enerji deposu olarak da hizmet etmektedirler (25 ATP/1 prolin molekülü) (Hildebrandt & ark. 2015). Amino asit türevlerinden **glisin betain** ve **alanin betain** 'de proline benzer işlevlere sahiptir ve stres altındaki bitkilerde glisin betain birikmekte olup kendi biyosentez genleri olan *betA* ve *β-alanin* genlerinin çalışmasını transkripsiyon seviyesinde düzenlemektedirler (Sharma & ark. 2019). Bitkiler stres periyodunda hem enerji kaynağı hem de ozmotik basınç düzenleyicisi olarak **glikoz, fruktoz, sakkaroz, laktoz** vb. şekerleri biriktirirler (Ghosh & ark. 2021). Bunların hücrelerde depolanması *SWEET* gibi sinyal genlerinin transkripsiyon miktarıyla ayarlanmaktadır (Rosa & ark. 2009). Diğer grup kuraklık stresiyle ilgili ozmolitler **mannitol, sorbitol, gliserol, inositol, pinitol** gibi şeker alkolü poliyollerdir (Gugliuzza & ark. 2020). Çeşitli araştırma sonuçları göstermektedir ki, kuraklık stresiyle ilgili bazı transkripsiyon faktörleri stres tepkisinin kontrolünde önemli rollere sahiptirler. Bunlardan *DREB*, *WRKY*, *NAC*, *bZIP* ve *MYB* gibi bazı gen kümeleri ve bunların TF 'leri kuraklık stresinin düzenlenmesindeki ağ sisteminin kontrolünde hayati öneme sahiptirler (Lan & ark. 2023; Huang & ark. 2024). Örneğin *DREB* (Dehydration-Responsive Element Binding) genleri kuraklık, susuzluk, soğuk stresinde aktif hale geçmektedir (Zhang & ark. 2022). *DREB* TF 'leri hedefteki genlerin promotor bölgelerinde bulunan DRE elementlerine bağlanarak genin ifade düzeyini ayarlamaktadır (Ma & ark. 2024). *DREB* genleri teşvik edildikten sonra prolin, glisin

betain vb. moleküller bol miktarlarda üretilmektedirler. Kök gelişimini de etkileyen DREB TF'leri kurak dönemlerde toprağın derin katmanlarından suyu absorbe etmek için köklerin vertikal uzamasına yardımcı olmaktadır (Zhang & ark. 2024). Abiyotik stresle mücadelede bitkiler hasar sonrası oluşan ROS moleküllerini nötralize etmek için hem enzimatik hem enzimatik olmayan antioksidant savunma sistemlerini çalıştırmaktadırlar. Hasar sonrası oluşan süperoksit ve hidroksil radikalleri, hidrojen peroksit, nitrik oksit vb. radikaller bitki hücrelerindeki protein, nükleik asit, lipid gibi molekülleri oksitleyerek zarar vermektedirler. Antioksidant savunma sisteminin enzimleriyle ROS moleküllerinin toksik etkisi yok edilmekte, böylece DNA hasarları onarılmakta, membranlarda lipid peroksidasyonu azalmakta, protein hasarları önlenmektedir (Fujita & Hasanuzzaman 2022). Kurak koşullarda aşırı güneş ışığı enerjisinden dolayı kloroplastlarda ve mitokondrilerde elektronlar oksijeni redükleyerek süperoksit ve hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarını %50 oranında artırmaktadır (Cruz 2008). CAT ve SOD enzimleri süperoksit ve hidrojen peroksidi oksijen ve suya dönüştürerek oksitleyici zararlı etkilerini yok etmektedirler. Kuraklığa dayanıklı bitkilerde hassas bitkilere göre, ROS birikiminin daha az ve ROS toksisitesini azaltan enzimlerin ise daha yüksek oranlarda olduğu rapor edilmiştir (Wang & ark. 2019).

2.2. Hormonlar

Bitki hormonlarından absisik asit (ABA), etilen, oksinler, sitokininler, gibbereliler ve brassinosteroidler kuraklık stres tepkilerinin düzenlenmesinde önemli rollere sahiptirler (Waadt & ark. 2022). Ancak bu hormonlardan ABA temel olarak stomaların kapanmasını teşvik ederek su kaybını önlediği için kurak koşullarda fotosentezi sınırlandıran en temel hormon olarak kabul edilmektedir. Su yetersizliğinde ABA dokularda artış göstermekte olup çeşitli savunma tepkimelerinin aktivasyonundan sorumludur. Koruyucu hücrelerde (guard cells) ilgili reseptörlere bağlandıktan sonra membran protein trafiğini yönlendirmekte, iyonların hücre dışına akışını ve azalan turgor basıncını kontrol altında tutmaktadır. Turgor basıncı düşünce stomalar kapanarak su kaybı önlenmekte, CO_2 girişi sınırlandırılmakta ve sonuçta fotosentez oranı düşmektedir. Aynı zamanda ABA klorofil parçalayan enzimleri de teşvik ederek fotosentezi azaltmaktadır. Çeltikte su kaybıyla artan dehidrin gibi proteinlerin transkripsiyonunu üst seviyelere çıkararak bitkilerin ölümcül strese karşı savunmasına destek olmaktadır (Yazaki & ark. 2003). Klorofil sentezi ve yıkımı arasında dengeyi sağlayan diğer önemli hormonda etilen (E) gazıdır. Düşük miktarda etilen adventif köklerin gelişimini teşvik etmekte ve böylece kök yüzey alanı genişlemekte olup gazların difüzyonu ve su alımını artırmaktadır. Yükselen E ise klorofil parçalayan enzimleri teşvik ederek ROS türevlerinin üretimini azaltarak oluşacak hasarları önlemeye çalışmaktadır, aynı zamanda stres sonrası tekrar klorofil sentezini teşvik etmektedir (Wang & ark. 2022). Hücre bölünmesini teşvik eden sitokininlerin fonksiyonları karmaşıktır. Kurak mevsimlerde sitokininlerin seviyesi azalarak bitki gelişimi gerilemekte, kök/sürgün oranı artış göstermekte, ABA'nın etkisini azaltarak klorofil parçalanmasını geciktirerek fotosentezi korumaya almakta böylece bitki sağlığını korumaktadırlar (Berková & ark. 2026).

3. BİTKİLERİN KURAKLIĞA MOLEKÜLER TEPKİLERİ

Bitki ıslah çalışmalarında kuraklık toleransında bitkilerin geliştirdiği moleküler mekanizmaların bilinmesi gerekir. Kuraklık toleransına dahil olan genler sinyallerin algılanması, transkripsiyon faktörleri ve hormonlarla ilgilidir (Joshi & ark. 2016; Mahmood & ark. 2019; Iqbal & ark. 2022). Toleranslığın gelişimini sağlayan genler genelde transkripsiyon aracılı genetik ve epigenetik değişimleri teşvik etmektedirler. Özellikle bitki ıslah çalışmalarında kuraklığın

fonksiyonel ve moleküler mekanizmalarının detaylı araştırılması kurağa tolerant bitki seleksiyon stratejisi geliştirilmesinde sağlam bir zemin oluşturacaktır. Kuraklık tepki genleri düzenleyici ve fonksiyonel genler olmak üzere iki ana grupta ele alınmaktadır (Nakashima & ark. 2025). İlgili genler hormon sinyalleri ve transkripsiyon faktörlerini kapsayan geniş bir ağ sistemiyle opere edilmektedir. Düzenleyici genler sinyalin iletilmesi ve biyokimyasal yolların aktiflenmesinden sorumlu olup fonksiyonel genler de doğrudan hücreleri koruyan protein vb. molekülleri kapsamaktadır. Düzenleyici genler protein kinazlar, TF 'leri ve hormon sinyal genlerinden ibarettir (Ming & ark. 2024; Nakashima & ark. 2025). Fonksiyonel genler de ozmolitler, LEA proteinleri, antioksidatif enzimler ve su kanalları ile taşıyıcı sistemlerden ibarettir (Wang & ark. 2020; Nakashima & ark. 2025).

Bitkilerde kuraklık baskısının tepkisiyle ilgili büyük bir ağ sisteminin kontrolünden sorumlu olan transkripsiyon faktörleri fonksiyonel özelliklerine göre DREB, MYB, NAC, WRKY, ZIP ailesinin üyeleridir (Hrmova & Hussain 2021; Khoso & ark. 2022; Akter & ark. 2025). Kurak dönemlerde bitkilerin “su potansiyel gradyenti” stabil olmadığı için bitkilerin turgor basıncı, ozmotik dengesi ve hücre duvar gerilimi de değiştirmektedir (Christmann & ark. 2013). Mekanik bir sinyal olarak algılanan bu değişimler kalsiyum katyonlarının membran yüzeyinde bulunan Ca^{+2} kanallarıyla hücre içine girişini hızlandırmakta ve hücreler kalsiyum-bağlı protein kinazlarla interaksyona girerek bunu kimyasal mesaja dönüştürmektedirler. Ca^{+2} -bağlı sinyal olaylarının gelişmesi ABA teşvikiyle gerçekleştiği için kurak dönemlerde bitkiler ABA miktarını yükselmektedirler (Liu & ark. 2022). ABA hücre içinde bulunan PYL/PYR/RCAR gibi reseptörlere bağlanarak kuraklıkla ilgili çeşitli genlerin aktif/inaktif veya inaktif/aktif dönüşümlerine neden olmaktadır. Sonuç itibarıyla önce stoma açılma-kapanma ve morfolojisindeki değişimler ve diğer kurak toleransını artıracak yönde genlerin çalışması tekrar organize edilmektedir.

4. SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Kurak ve yarı-kurak bölgelerde su kıtlığı tarımsal bitkilerde gelişmeyi ve toplam verimi önemli oranda etkilemektedir. Bitkilerin kuraklık stresine adaptasyonunda, proteinler, polifenoller, terpenoidler, enzimatik antioksidan moleküller hayati öneme sahiptirler. Bununla beraber kuraklıkla mücadelede ABA ve fotosentezin ışık sinyal yolları stratejik öneme sahiptir. ABA düzenleyici moleküldür ve fizyolojik tepkilerin gelişmesinden sorumlu başlangıç olaylarının koordinasyonundan sorumludur.

Kuraklığa dayanıklı bitki ıslahında integratif bir yaklaşımla strateji geliştirmek için kuraklık stresinin moleküler mekanizmasının ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu derlemede kuraklık stresinde bitki hücrelerinin kuraklık sinyal mekanizmasının fizyolojik ve moleküler temelleri ele alınmıştır. Konu geniş bir perspektifle değerlendirildiğinde stres koşullarında kuraklığa dayanıklılık gösteren çeşitli bitkilerin omiks araştırma sonuçlarının meta-analizle karşılaştırmalı verilerine ihtiyaç vardır. Ancak bitkilerin kuraklığa direnç mekanizması son derece karmaşıktır. İlgili verileri insan gücüyle incelemek çok zordur ve uzun zaman alacaktır. Bu bağlamda bilgisayar ve yapay zeka destekli analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece bitkilere ait benzer binlerce veriler hızlı, kolay, kısa sürede ve doğru bir şekilde incelenebilecektir. Bu sayede kuraklık dayanıklılığının genetik yapısı, kuraklık amacına uygun ıslah, kurak bitki dayanıklılığının mekanizması gibi konuların standartizasyonunda da referans olabilecek sonuçlar da ortaya çıkacaktır ve kuraklığa dayanıklı, verimli fenotipik özellikler kolayca selekte edilecektir. Özellikle interdisipliner bir alan olan moleküler biyolojik araştırmalar, bitkilerde kuraklık stres tepkilerinin algılanmasından-moleküler tepkiye

dönüşüme kadar bir dizi biyokimyasal-fizyolojik-genetik mekanizmaların aydınlatılmasında önemli ilerlemeler sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akter MB, Li J, Lv X, Saand MA, Mehvish A, Sayed MA, Yang Y. (2025). Identification of key genes and signaling pathways in coconut (*Cocos nucifera* L.) under drought stress via comparative transcriptome analysis. *BMC Plant Biology*, 25(1), 510.
- Bandeh-Hagh A, Toorchi M, Mohammadi A, Chaparzadeh N, Salekdeh GH, Kazemnia H. (2008). Growth and osmotic adjustment of canola genotypes in response to salinity. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(2), 201.
- Berková V, Berka M, Kuzmenko M, Koukalová Š, Bílek O, Novák J, ... Černý M. (2026). Altered cytokinin signaling drives plant drought resilience through lipid remodeling, nutrient homeostasis, cell wall reinforcement, and modulation of biotic stress-associated pathways. *Plant Physiology and Biochemistry*, 111402.
- Bertolino LT, Caine RS, Gray JE. (2019). Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. *Frontiers in Plant Science*, 10, 225.
- Cao Y, Yang W, Ma J, Cheng Z, Zhang X, Liu X, ... Zhang J. (2024). An integrated framework for drought stress in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9347.
- Christmann A, Grill E. & Huang J. (2013). "Hydraulic signals in long-distance signaling". *Current Opinion in Plant Biology*. 16 (3): 293–300.
- Cohen I, Zandalinas SI, Huck C, Fritschi F B, Mittler R. (2021). Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*, 171(1), 66-76.
- Cruz DCM. (2008). Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant Signaling and Behavior*, 3(3), 156-165.
- Danquah A, De Zélicourt A, Colcombet J, Hirt H. (2014). The role of ABA and MAPK signaling pathways in plant abiotic stress responses. *Biotechnology Advances*, 32(1), 40-52.
- Dong T, Park Y, Hwang I. (2015). Absciscic acid: biosynthesis, inactivation, homeostasis and signalling. *Essays in Biochemistry*, 58, 29-48.
- Dos Santos TB, Ribas AF, de Souza SGH, Budzinski IGF, Domingues DS. (2022). Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, 2(1), 113-135.
- Fang Y, Xiong L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72(4), 673-689.
- Farouk S. (2011). Osmotic adjustment in wheat flag leaf in relation to flag leaf area and grain yield per plant. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(2), 117-138.
- Flexas J, Bota J, Loreto F, Cornic G, Sharkey TD. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6(03), 269-279.
- Fujita M, Hasanuzzaman M. (2022). Approaches to enhancing antioxidant defense in plants. *Antioxidants*, 11(5), 925.
- Ghosh UK, Islam MN, Siddiqui MN, Khan MAR. (2021). Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. *Plant Signaling & Behavior*, 16(8), 1913306.
- Gugliuzza G, Talluto G, Martinelli F, Farina V, Lo Bianco R. (2020). Water deficit affects the growth and leaf metabolite composition of young loquat plants. *Plants*, 9(2), 274.

- Hayat S, Hayat Q, Alyemeni MN, Wani AS, Pichtel J, Ahmad A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling & Behavior*, 7(11), 1456-1466.
- Hildebrandt TM, Nesi AN, Araújo WL, Braun HP. (2015). Amino acid catabolism in plants. *Molecular Plant*, 8(11), 1563-1579.
- Hrmova M, Hussain SS. (2021). Plant transcription factors involved in drought and associated stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5662.
- Huang Y, Du B, Yu M, Cao Y, Liang K, Zhang L. (2024). Picea wilsonii NAC31 and DREB2A cooperatively activate ERD1 to modulate drought resistance in transgenic Arabidopsis. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(4), 2037.
- Ichimura K, Shinozaki K, Tena G, Sheen J, Henry Y, Champion A, ... Mapk Group. (2002). Mitogen-activated protein kinase cascades in plants: a new nomenclature. *Trends in Plant Science*, 7(7), 301-308.
- Iqbal S, Wang X, Mubeen I, Kamran M, Kanwal I, Díaz GA, ... Fahad S. (2022). Phytohormones trigger drought tolerance in crop plants: outlook and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 12, 799318.
- Ji X, Dong B, Shiran B, Talbot MJ, Edlington JE, Hughes T, ... Dolferus R. (2011). Control of abscisic acid catabolism and abscisic acid homeostasis is important for reproductive stage stress tolerance in cereals. *Plant Physiology*, 156(2), 647-662.
- Joshi R, Wani SH, Singh B, Bohra A, Dar ZA, Lone AA, ... Singla-Pareek SL. (2016). Transcription factors and plants response to drought stress: current understanding and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1029.
- Kardiman R, Ræbild A. (2018). Relationship between stomatal density, size and speed of opening in Sumatran rainforest species. *Tree Physiology*, 38(5), 696-705.
- Kaur V, Yadav SK, Yadav B, Madaan S, Kheralia M, Chinnusamy V. (2026). Root system architecture and drought adaptation: emerging tools and genetic insights. *Frontiers in Plant Science*, 17, 1753086.
- Khan A, Pan X, Najeeb U, Tan DKY, Fahad S, Zahoor R, Luo H. (2018). Coping with drought: stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. *Biological Research*, 51.
- Khan P, Abdelbacki AMM, Albaqami M, Jan R, Kim KM. (2025). Proline promotes drought tolerance in maize. *Biology*, 14(1), 41.
- Khatun M, Sarkar S, Era FM, Islam AM, Anwar MP, Fahad S, ... Islam AA. (2021). Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms and management. *Agronomy*, 11(12), 2374.
- Khoso MA, Hussain A, Ritonga FN, Ali Q, Channa MM, Alshegaihi RM, ... Manghwar H. (2022). WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1039329.
- Lan Y, Pan F, Zhang K, Wang L, Liu H, Jiang C, ... Xiang Y. (2023). PhebZIP47, a bZIP transcription factor from moso bamboo (*Phyllostachys edulis*), positively regulates the drought tolerance of transgenic plants. *Industrial Crops and Products*, 197, 116538.
- Lawlor DW. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, 89(7), 871-885.
- Lawlor DW, Cornic G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 275-294.

- Li LB, Yu DW, Zhao FL, Pang CY, Song MZ, Wei HL, ... Yu SX. (2015). Genome-wide analysis of the calcium-dependent protein kinase gene family in *Gossypium raimondii*. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(1), 29-41.
- Liu H, Song S, Zhang H, Li Y, Niu L, Zhang J, Wang W. (2022). Signaling transduction of ABA, ROS, and Ca^{2+} in plant stomatal closure in response to drought. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 14824.
- Lu H, Zhang J, Liu KB, Wu N, Li Y, Zhou K, ... Li Q. (2009). Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(18), 7367-7372.
- Ma Z, Hu L, Jiang W. (2024). Understanding AP2/ERF Transcription Factor Responses and Tolerance to Various Abiotic Stresses in Plants: A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25, 6845.
- Mahmood T, Khalid S, Abdullah M, Ahmed Z, Shah MKN, Ghafoor A, Du X. (2019). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, 9(1), 105.
- Mahmood T, Abdullah M, Ahmar S, Yasir M, Iqbal MS, Yasir M, ... Mora-Poblete F. (2020). Incredible role of osmotic adjustment in grain yield sustainability under water scarcity conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 9(9), 1208.
- Ming M, Zhang J, Zhang J, Tang J, Fu F, Cao F. (2024). Transcriptome profiling identifies plant hormone signaling pathway-related genes and transcription factors in the drought and re-watering response of *Ginkgo biloba*. *Plants*, 13(19), 2685.
- Nakashima K, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. (2025). Transcriptional gene network involved in drought stress response: application for crop breeding in the context of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 380(1927), 20240236.
- Nieves-Cordones M, Al Shiblawi FR, Sentenac H. (2016). Roles and transport of sodium and potassium in plants. In *The alkali metal ions: Their role for life* (pp. 291-324). Cham: Springer International Publishing.
- Qiao M, Hong C, Jiao Y, Hou S, Gao H. (2024). Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. *Plants*, 13(13), 1808.
- Riemann M, Dhakarey R, Hazman M, Miro B, Kohli A, Nick P. (2015). Exploring jasmonates in the hormonal network of drought and salinity responses. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1077.
- Rosa M, Prado C, Podazza G, Interdonato R, González JA, Hilal M, Prado FE. (2009). Soluble sugars: Metabolism, sensing and abiotic stress: A complex network in the life of plants. *Plant Signaling & Behavior*, 4(5), 388-393.
- Seddon JM. (1990). Structure of the inverted hexagonal (HII) phase, and non-lamellar phase transitions of lipids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Biomembranes*, 1031(1), 1-69.
- Sharma A, Shahzad B, Kumar V, Kohli SK, Sidhu GPS, Bali AS, ... Zheng B. (2019). Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*, 9(7), 285.
- Slama I, Abdelly C, Bouchereau A, Flowers T, Savouré A. (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, 115(3), 433-447.

- Steponkus PL, Uemura M, Joseph RA, Gilmour SJ, Thomashow MF. (1998). Mode of action of the COR15a gene on the freezing tolerance of *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(24), 14570-14575.
- Tribulato A, Toscano S, Di Lorenzo V, Romano D. (2019). Effects of water stress on gas exchange, water relations and leaf structure in two ornamental shrubs in the Mediterranean area. *Agronomy*, 9(7), 381.
- Ullah A, Sun H, Yang X, Zhang X. (2017). Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. *Plant Biotechnology Journal*, 15(3), 271-284.
- Waadt R, Seller CA, Hsu PK, Takahashi Y, Munemasa S, Schroeder JI. (2022). Plant hormone regulation of abiotic stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 23(10), 680-694.
- Wang X, Guo C, Peng J, Li C, Wan F, Zhang S, ... Li J. (2019). ABRE-BINDING FACTORS play a role in the feedback regulation of ABA signaling by mediating rapid ABA induction of ABA co-receptor genes. *New Phytologist*, 221(1), 341-355.
- Wang L, Lee M, Ye BQ, Yue GH. (2020). Genes, pathways and networks responding to drought stress in oil palm roots. *Scientific Reports*, 10, 21303.
- Wang Z, Zhao X, Ren Z, Abou-Elwafa SF, Pu X, Zhu Y, ... Ku L. (2022). ZmERF21 directly regulates hormone signaling and stress-responsive gene expression to influence drought tolerance in maize seedlings. *Plant, Cell & Environment*, 45(2), 312-328.
- Wilkinson S, Davies WJ. (2010). Drought, ozone, ABA and ethylene: new insights from cell to plant to community. *Plant, Cell & Environment*, 33(4), 510-525.
- Wilkinson S, Kudoyarova G R, Veselov DS, Arkhipova TN, Davies WJ. (2012). Plant hormone interactions: innovative targets for crop breeding and management. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3499-3509.
- Yazaki J, Kishimoto N, Nagata Y, Ishikawa M, Fujii F, Hashimoto A, ... Kikuchi S. (2003). Genomics approach to abscisic acid-and gibberellin-responsive genes in rice. *DNA Research*, 10(6), 249-261.
- Yoshida T, Mogami J, Yamaguchi-Shinozaki K. (2014). ABA-dependent and ABA-independent signaling in response to osmotic stress in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 21, 133-139.
- Zhang L, Chen L, Pang S, Zheng Q, Quan S, Liu Y, ... Qi M. (2022). Function analysis of the ERF and DREB subfamilies in tomato fruit development and ripening. *Frontiers in Plant Science*, 13, 849048.
- Zhang TT, Lin YJ, Liu HF, Liu YQ, Zeng ZF, Lu XY, ... & Wang XF. (2024). The AP2/ERF transcription factor MdDREB2A regulates nitrogen utilisation and sucrose transport under drought stress. *Plant, Cell & Environment*, 47(5), 1668-1684.

KURAKLIK STRESİNDE WRKY TRANSKRİPSİYON FAKTÖRLERİNİN ROLÜ**Dr. Öğretim Üyesi Berna BAŞ**Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 27310 Şehitkamil,
Gaziantep**ORCID ID: 0000-0003-2455-2849****ÖZET**

Kuraklık stresi, bitkisel üretimi ve küresel gıda güvenliğini tehdit eden en önemli abiyotik faktörlerden birisidir. Sessil organizmalar olan bitkiler, bu iklimsel baskıya karşı hayatta kalabilmek için hücresel, fizyolojik ve moleküler düzeyde karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Çeşitli hücresel aktivitelerden sorumlu olan transkripsiyon faktörleri hücrelerde gelişme, farklılaşma, sekonder metabolizmanın düzenlenmesi, biyotik/abiyotik bir sinyale tepki verme gibi hayati öneme sahip fizyolojik olaylarda işlevsel olan genlerin ifade seviyelerini ayarlayarak stresi kontrol edebilmektedirler. Bitkilerde oldukça geniş bir dağılım gösteren WRKY transkripsiyon faktörleri bitkilerde gelişim, biyotik ve abiyotik stres koşullarında aktif hale geçen proteinlerdir ve nadiren mikroorganizmalarda, alglerde bulunmaktadır. Evrimsel yönden yüksek derece korunmuş baz dizilerine sahip WRKY TF 'leri hedefteki genlerin promoter bölgelerinde yer alan W-box cis elementlerine bağlanarak ilgili genetik bilginin mRNA 'ya geçiş oranını kontrol etmektedirler. WRKY proteinleri kuraklık stresinde fonksiyonel olan genlerin promoterinde W-box sekanslarına bağlanınca genlerin aktif-inaktif dönüşümleri ifade seviyeleri değişmekte, absisik asit sinyal yollarındaki aracı moleküllerle interaksiyona girerek hücresel tepkileri hızlandırmakta, su kaybını önlemek için stomaların kapanmasına destek olmakta, su yetersizliğine bağlı olarak artan zararlı reaktif oksijen türevi moleküllerin toksik etkilerini yok etmekte, ozmolitik moleküllerin biyosentezini artırarak hücrenin turgor basıncını korumasına destek olmaktadır. Kuraklık dayanıklılığının sinyal yollarındaki moleküller arası çapraz iletişim ağının ortaya çıkarılması biyoteknolojik yöntemlerle kuraklığa dayanıklı varyete seleksiyon araştırmalarının ilk adımıdır. Ele alınan bu çalışmada kuraklık stresinde fonksiyonel olan *Arabidopsis thaliana* 'da AtWRKY63 transkripsiyon faktörü model olarak seçilmiştir. Bu faktöre bağlı sinyal yollarında gelişen reaksiyonlar dizisinin fizyolojik, biyokimyasal ve genetik düzeyde ki etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitkilerde kuraklık stresi, WRKY transkripsiyon faktörleri, kurak toleranslık mekanizması, sinyal yolları, düzenleyici mekanizma

THE ROLE OF WRKY TRANSCRIPTION FACTORS IN DROUGHT STRESS**ABSTRACT**

Drought stress is one of the most significant abiotic factors threatening crop production and global food security. Plants, being sessile organisms, have developed sophisticated defense mechanisms at the cellular, physiological, and molecular levels to survive in this climate pressure. Transcription factors, responsible for various cellular activities, can control stress by regulating the expression levels of genes that are functional in vital physiological events such as development, differentiation, regulation of secondary metabolism, and response to biotic/abiotic signals. WRKY transcription factors, which have a wide distribution in plants, are proteins that become active in plants under developmental, biotic, and abiotic stress

conditions and are rarely found in microorganisms and algae. WRKY TFs, which have highly conserved evolutionary base sequences, control the rate of transfer of the relevant genetic information to mRNA by binding to W-box cis elements located in the promoter regions of target genes. When WRKY proteins bind to W-box sequences in the promoters of genes functional under drought stress, the expression levels of these genes change through active-inactive conversions. They interact with mediator molecules in abscisic acid signaling pathways, accelerating cellular responses, supporting stomatal closure to prevent water loss, neutralizing the toxic effects of harmful reactive oxygen species that increase due to water scarcity, and supporting the maintenance of cellular turgor pressure by boosting the biosynthesis of osmolytic molecules. Uncovering the intermolecular cross-talking network in drought tolerance signaling pathways is the first step in research on selecting drought-resistant varieties using biotechnological methods. In this study, the *AtWRKY63* transcription factor in *Arabidopsis thaliana*, which is functionally related to drought stress, was selected as a model system. *The physiological, biochemical, and genetic effects of the series of reactions occurring in the signaling pathways dependent on this factor were investigated.*

Keywords: Drought stress in plants, WRKY transcription factors, drought tolerance mechanism, signaling pathways, regulatory mechanism.

1. GİRİŞ

Kuraklık stresi, bitkisel üretimi ve küresel gıda güvenliğini tehdit eden en önemli abiyotik faktörlerden biridir. Sesil organizmalar olan bitkiler, bu iklimsel baskıya karşı hayatta kalabilmek için hücresel, fizyolojik ve moleküler düzeyde karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bitkilerin kuraklığa bağlı moleküler tepkilerinin ana düzenleyicileri **transkripsiyon faktörleri (TF)** 'dir. Transkripsiyon faktörleri, hedef genlerin promoter bölgelerindeki belirli DNA dizilerine bağlanarak bitkinin strese adaptasyonunu kontrol eden en önemli anahtar molekülerdendir. Özel baz dizilerine sahip olan TF 'leri bir düzen içinde birlikte görev yapan birden fazla düzenleyici basamaktan oluşmaktadır. WRKY TF 'lerinin W-box cis bölgesine fiziksel olarak bağlanabilme potansiyelini kromatin yapıya erişilebilirlik ve epigenetik durum belirlemektedir (Angidi & Razzaq 2026). WRKY TF 'lerinin özgülüğünü cis-regülatör konsensüs baz sekansları, kromatine ulaşılabilme ve epigenetik özelliği, protein-protein interaksiyonları, translasyon sonrası modifikasyonlar ve protein homeostazı ile stress, doku, zamana bağlı sinyal verme koşulları belirlemektedir (Angidi & Razzaq 2026). Böylece ihtiyaç duyulduğunda gerekli miktarda ve belli zaman diliminde herhangi bir hücrede genlerin aktif-inaktif dönüşümleri sağlanarak hücresel bir aktivite yeniden düzenlenebilmektedir. TF proteinleri DNA üzerindeki genetik bilginin mRNA 'ya geçiş oranını kontrol etmektedirler (Isbel & ark. 2022; Khoso & ark. 2022). Dolayısıyla çeşitli hücresel aktiviteleri yöneten TF 'leri hücrelerde gelişme, farklılaşma, sekonder metabolizmanın düzenlenmesi, biyotik/abiyotik bir sinyale tepki verme gibi hayati öneme sahip fizyolojik olaylarla ilgili genlerin ifade seviyelerini ayarlayarak bitkileri stres koşullarına adapte etmektedirler (Chowdhary & ark. 2023).

Hücrelerde fonksiyonel çeşitliliği en fazla olan molekül grubu proteinlerin, genel olarak ısıya bağlı değişken konformasyonel esneklikleri, farklı çevresel koşullara tepki olarak yıkıma uğramadan yapısal düzenlerini tekrar programlayarak diğer moleküllere kolayca bağlanma kapasitesi kazandırabilmektedir. Proteinlerin bu elastik yapıları nedeniyle TF proteinlerinin çok çeşitli yapısal ve fonksiyonel özelliklerle evrimleşmiş olmaları muhtemeldir. *Arabidopsis thaliana* genomunun yaklaşık %5 'lik kısmı 1500 'den fazla transkripsiyon faktörlerini

kodlamaktadır (Riechmann & ark. 2000). Onlarca bitki türlerine ait 14.000 'den fazla WRKY geni PlantTFDB veri tabanına kayıtlıdır (Jin & ark., 2016).

Bitkilerde NAC ailesi, WRKY ailesi, MYB ailesi, HD-Zip ailesi, NF-Y ailesi gibi çok çeşitli TF 'leri bulunmakta olup, WRKY en fazla bulunan transkripsiyon faktörlerinden birisidir. Birçok gen kümelerinden oluşan WRKY TF ailesi bitkilerde geniş bir dağılım göstermektedir ve evrimsel yönden korunmuş sekans dizilerine sahiptirler (Finatto & ark. 2018). WRKY TFs 'leri çeşitli alt gruplara sahip olup her grubun amino asit motifleri ile işlevsel özellikleri farklılık göstermektedir, örn., soğuk, kuraklık, tuz stresi gibi farklı streslerde ve bitki gelişimi, metabolik faaliyetler gibi farklı olaylarda çeşitli roller üstlenen WRKY 'ler fonksiyonel çeşitlilik göstermektedirler (Khoso & ark. 2022). Bitkilerde kuraklık toleranslığıyla ilgili WRKY TFs 'den *Arabidopsis thaliana* 'da AtWRKY57 ve AtWRKY63, *Glycine max* 'da GmWRKY17, *Sorghum bicolor* 'da SbWRKY30, *Zea mays* 'da ZmWRKY79, *Solanum lycopersicum* 'da SlWRKY52 vb. çalışılan örneklerden bazılarıdır (Jiang & ark. 2012; Li & ark. 2020; Song & ark. 2023; Jia & ark. 2023; Ma & Hu 2024).

Geleneksel yöntemlerle kurağa dayanıklı bitki ıslahında Mendel yasalarına göre seleksiyon uzun yıllar almaktadır. Kuraklık dayanıklılığı alanında çalışan araştırmacılar omiks-destekli büyük verilerin analizine dayalı seleksiyon, moleküler tasarım ve yapay zeka ile model tahmin sistemlerine doğru yönelmeye başlamışlardır. Özellikle moleküler biyolojik yöntemlerle susuzluğa dayanıklı gen ıslah çalışmalarında kuraklık stresinde işleyen mekanizmaların aydınlatılması gerekir. Bitkilerde kuraklık stresinin algılanmasında, sinyalin yayılmasında ve gen aktivasyonunda çok geniş bir çapraz iletişim ağı bulunmaktadır. Kuraklığa dayanıklı karakter seçiminde, kısa sürede ve doğru bir seleksiyon için bu ağ sisteminin yapısal karmaşasında aracı olan molekülüleri ve işlevlerinin net olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla WRKY TF 'lerinden *Arabidopsis thaliana* 'da AtWRKY63 transkripsiyon faktörü model olarak seçilmiş ve buna bağlı kuraklığın bitkilerdeki fizyolojik, biyokimyasal ve genetik düzeydeki değişimleri incelenmiştir.

2. KURAKLIK STRESİNDE WRKY TF 'LERİ

WRKY TF 'leri bitkilerin gelişimlerini ve biyotik/abiyotik stres tepkilerini düzenlemektedir ve çeşitli genlerin WRKY DNA-bağlanma bölgesinde özel nükleik asit baz dizileriyle interaksyona geçmektedirler (Khoso & ark. 2022; Chen & ark. 2025). Bitkilere özgü stres düzenleyici protein grubunun en büyük üyelerinden biri olan WRKY proteinleri, ısı, kuraklık, tuzluluk, soğuk gibi abiyotik stres tepkilerinin gelişmesine aracılık etmektedirler (Khoso & ark. 2022). WRKY domain alanı yaklaşık 60 amino asitten meydana gelmektedir (Xu & ark. 2020). N-terminal uç bölgesi evrimsel olarak son derece korunmuş WRKYGQK motif dizisine sahipken, değişken çinko-parmak yapı modeline sahip olan C-terminal uç ise WRKY TF 'lerinin sınıflandırılmasında referans olarak kullanılmaktadır (Xu & ark. 2020; Xiao & ark. 2026). C-terminal WRKY bölgesi DNA ile bağlantı kurmakta, N-terminal uç ise bağlanma afinitesini artırmaktadır (Xiao & ark. 2026). Ancak N-terminal uç bölgesinden DNA 'ya bağlanan WRKY TF 'leri de bulunmaktadır (Xiao & ark. 2026). Evrimsel olarak korunmuş baz dizileri [S/T]TGAS[S/T] değişmez olup, merkezde yer alan TGAS sabit olan nükleik asit baz dizilerdir (A; adenin, T; timin, G; guanin; S; sitozin) (Javed & Gao 2023). WRKY TF 'lerinde fonksiyonel kayıplar yaşayan veya aşırı derecelerde gen ifadesine sahip olan bitki varyetelerinde stress toleranslığının önemli oranda etkilendiği rapor edilmiştir (Zhu 2016; Ma & Hu 2024).

AtWRKY63 transkript faktörü ABA-bağılı sinyal yolunda *A. thaliana* 'da strese karşı savunma sisteminde görev yapmaktadır (Ren & ark. 2010). Hedef genlerin promoter bölgelerinde bulunan ve özel olarak 5'-TTGACC/T-3' dizisine sahip W-box cis-elementlerine bağlanarak genin çalışma düzenini değiştirmektedir. Böylece kuraklık stresiyle ilgili biyokimyasal olaylar silsilesi aktiflenmeye başlamaktadır.

2.1. AtWRKY63 TRANSKRİPT FAKTÖRÜNÜN KURAKLIK STRESİYLE İLGİLİ AĞ BAĞLANTISI

AtWRKY63 molekülleri (diğer ismi ABO3) stressiz koşullarda daima hücre içinde düşük miktarlarda bulunmaktadır (Ren & ark. 2010). Arabidopsiste kuraklık dayanıklılığının pozitif düzenleyicisi olarak çalışan AtWRKY63 transkript molekülü, AREB1/ABF2 geninin promoter bölgesine bağlanmaktadır (Ren & ark. 2010). Böylece ABEF1/ABF2 protein miktarı artış göstermektedir. ABA-duyarlı bir transkripsiyon faktör geni olan *ABEF1/ABF2* 'nin promoter bölgesi WRKY bağlanma sekanslarına sahiptir, kuraklık dönemlerinde ABA-sinyal yollarında işlevseldir (Ren & ark. 2010). Su kıtlığı başladığında vasküler dokularda ve koruyucu hücrelerde (guard cell) ABA sentez hızını kontrol eden enzim NCED (9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase) 'dir, enzim ABA 'nın öncül maddesini üretmektedir (Waseem & ark. 2025). ABA kuraklık stresine adaptasyonda ana sinyal molekülüdür ve transpirasyonla su kaybını önlemek için stomaların kapanmasını ve kuraklıkla ilgili çeşitli genlerin ifade düzeyinin değişimini dolaylı ve dolaysız yollardan teşvik etmektedir (Liao & ark. 2025). ABA köklerden ksilem yoluyla sürgünlere ulaşmakta hem hücreler arası boşluklarda hem de hücre membranlarındaki taşıyıcı kanal sistemleriyle hücreler arasından geçerek hücre-içinde birilmektedir (Kuromori & ark. 2018). Hücre içinde bulunan PYR/PYL/RCAR gibi reseptörler ABA ile karşılaşınca bağlanmakta ve ardından yapısal değişim geçiren bu reseptörler sistemin negatif regülatörü PP2Cs fosfataz enzimleriyle interaksyona girerek enzimi inhibe etmektedirler (Fidler & ark. 2022). Bu inhibisyon PP2C ile fiziksel interaksyon içinde olan SnRK2 protein kinaz enzimlerini aktiflemekte ve ardından hedefteki proteinler ve transkripsiyon faktörleri fosforile olmaktadır (Umezawa & ark. 2009). SnRK2 protein kinaz enzimi AREB1/ABF2 transkriptine fosfor aktararak ABF2 'yi fosforile eder ve aktiflenen ABF protein diğer ABF ile dimerizasyondan sonra (bu bZIP yapı) kuraklıkla ilgili genlerin özel DNA-cis sekanslarına bağlanma yetkinliği kazanmaktadır (Kim & ark. 2011). ABF2 bir transkript proteinidir ve kuraklıkla ilgili genlerin promoterinde bulunan ABRE (ASGTG) motifi ile bağlantı kurmaktadır (Fujita & ark. 2005). Örneğin bir stresle ilgili bir sinyal protein olan RD29A protein geninin promoterinde ABF2 TF 'nün bağlanma bölgesi bulunmaktadır (Narusaka & ark. 2003). İki molekülün sinerjik interaksyonundan sonra RD29A proteinin miktarı artmaya başlamaktadır. Ayrıca ABA-bağımsız hareket DREB protein gen bölgesinin promoterinde ABF2 transkriptinin bağlanma bölgesi bulunmakta olup aralarındaki interaksyon sonrası DREB miktarı artış göstermektedir (Lee & ark. 2010). Her iki protein ABF2 ve DREB senkronize hareket ederek RD29A DNA-cis bölgesine bağlanarak anahtar protein RD29A geninin ifade düzeyi daha fazla artmasına neden olmaktadır (Narusaka & ark. 2003). RD29A 'nın promoterinde yer alan DRE motifi TACCGACAT ve A/GCCGAC sekans dizisine sahip olup ABRE ise ACGTC sekans dizisine sahiptir. RD29A proteini kuraklığın önemli indikatör moleküllerden birisi olup tuzluluk, soğuk, kurak gibi koşullarda ortaya çıkmaktadır. ABF2 proteini DRE gen promoterine bağlanarak DREB protein miktarı artırır. DREB ise prolin, trehaloz, sukroz gibi moleküllerin metabolizmasıyla bağlantılı genlerin promoterine bağlanarak bu osmotolerant maddelerin sentezini teşvik etmektedir (Bakshi & ark. 2026). DREB ve ABF2

transkriptleri RD29A'dan bağımsız olarak şeker metabolizmasında işlevsel olan genlerin promoterine bağlanırken, RD29A ise hidrofilik moleküler bir zırh gibi hareket etmektedir, hücre membranlarının yüzeyini kaplayarak membran akışkanlığını ve kırılabilirliğini önlemekte, önemli metabolik enzimlerin çevresinde toplanarak kümeleşmelerine, moleküllerin yapısal bozulmalarına engel olmaktadır (Modarresi & Eyvazi 2014; Liang & ark. 2024). Prolin demir, bakır gibi iyonları bağlayarak fenton reaksiyonunu durdurmakta ve böylece H₂O₂ gibi oksitleyici moleküllerden türeyecek olan yıkıcı -OH radikallerinin oluşumuna da engel olmaktadır (Le 2026). Bitkinin metabolik saatini de düzenleyen RD29A proteini, stress döneminde yeni sentezlenen şekerlerden elde edilen enerjiyi bitkinin büyümesi ile hayatta kalma dengesini ayarlayarak kullanmaktadır (Kaur & ark. 2025). Biyoteknolojide RD29A promoteri yapay olarak laboratuvarlarda stresle ilgili genleri çalıştırmak için kullanılmaktadır (Polizel & ark. 2011).

3. ABA KURAKLIK STRESİNİ NASIL ALGILAMAKTADIR

Küçük ve hareketli bir peptid parçası olan CLE25 molekülü, kök vasküler hücrelerde üretilmekte olup bitkilerin kök gelişimleri ve kuraklık dönemlerinde sistemik bir sinyal olarak görev yapmaktadır (Endo & Fukuda, 2024). Su stresi başlayınca iletim demetleriyle sürgünlere geçen CLE25 peptidi hücre membran yüzeyinde bulunan kendi reseptörleri BAM1 ve BAM3 ile bağlanmaktadır (Crook & ark. 2020; Michalak & ark. 2026). Sitoplazmada bu bağlantı bir dizi fosforilasyon sinyal reaksiyonlar dizisini aktif hale getirmektedir. Bir protein kinaz enziminin fosfor grubunu NGA1 TF 'üne transfer etmesiyle translasyon sonrası modifikasyonla etkinleşen NGA1 proteini *NCED3* gen-promoter DNA cis elementine bağlanmaktadır (Sato & ark. 2018). Ardından *NCED3* transkripsiyon düzeyini maksimuma çıkararak ABA sentezini artırmaktadır.

4. STOMALARIN KAPANMASI VE ABA

Bitkiler kuraklık stresini hücrelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler yoluyla algılamaktadır. Toprak suyu azalınca köklerde su potansiyeli ve turgor basıncı azalmakta olup bu sonuç hücre membranlarının gerilimini değiştirmektedir (Takahashi & ark. 2020). Bitkilerde kuraklığa bağlı olarak birikmeye başlayan ABA, kendi reseptörleri PYR/PYL/RCAR ile bağlanınca PP2C fosfataz enzimlerini bloke etmektedir, bu blokaj SnRK2 (OST1) enziminin otofosforilasyonunu sağlamaktadır (Umezawa & ark. 2009; Fidler & ark. 2022). Aktiflenen SnRK2 (OST1) enzimi hücre dışına çıkarak membran yüzeyinde bulunan iyon pompaları ve kanal proteinleriyle dolaylı yollardan veya doğrudan fiziksel olarak interaksiyona girerek aktif-pasif geçit sistemlerinin açma/kapama durumunu kontrol etmektedir (Lee & ark. 2009). Kuraklık döneminde OST1 kinazın hedef aldığı hücre membran sistemleri ve sonuçları tablo 1 'de özetlenmiştir. Bitkilerin kurak koşullarda OST1 protein kinaz enzimi birinci derecede aktif olan pompa sistemlerini doğrudan fosforile etmek yerine dolaylı olarak aktif hale getirirken, ikinci derecede aktif olan kanal sistemleri ile taşıyıcı sistemleri doğrudan fosforile ederek eylemini gerçekleştirmektedir. OST1 kuraklık şokuna hızla fiziksel tepki verirken, ABA daha yavaş bir şekilde biyokimyasal değişimleri kontrol ederek stomaların kapanmasını teşvik etmektedir (Takahashi & ark. 2020). Örneğin OST1 aracılı aktiflenen kanal sistemleri hücre-içi anyonları hücre dışına verince membranın elektriksel yük özelliği aniden düşmekte olup voltajla kontrol edilen proton pompa sistemi bu elektriksel yük dengesindeki değişime bağlı kısa devre yaparak kapanmaktadır (Pei & ark. 2022). Böylece hücre dışına H iyon akışı durmakta ve membran elastikiyeti azalınca stoma gözenekleri büzülerek kapanmaktadır.

Kısacası membran yüzeyindeki hiper-ozmolalite ile gerçekleşen hücre sel su kaybı hücre duvarı ve membran arası boşluğu iyice gevşeterek büzölmelere yol açmaktadır. Bu büzölme stoma gözeneklerini birbirlerine yaklaştırarak kapanmasına neden olmaktadır. Mekanik gerilimlere duyarlı OSCA1 iyon kanalları su kaybıyla gerçekleşen fiziksel değişimler nedeniyle açılmakta ve Ca^{+2} katyonlarının aniden hücre içine girişini hızlandırmaktadır. Kalsiyum katyonları CPK enzimine bağlanarak ardından SLAC kanallarını fosforile etmektedirler. ABA hormonu da OST1 aracılı stomaların kapanmasına yardımcı olmaktadır.

Tablo 1. Kuraklık döneminde OST1 kinazın hedef aldığı membran taşıyıcı sistemleri ve sonuçları

Hedeffteki membran sistemi	Fiziksel interaksyon	Gelişen sonuç	Kaynak
Proton pompaları (H^+ ATPazlar)	OST1 kinaz pompanın fosforilasyonunu azaltır	Pompa sistemi kapanır, hücre dışına proton akışı kesilir ve membranın elektrik voltajı düşer	Lee & ark. 2009
Anyon kanalları SLAC1	OST1 kinaz fiziksel olarak bağlanır ve fosfat grubunu transfer eder	Kanal açılır, Cl^- gibi negatif iyonlar suyla birlikte hücre dışına çıkar ve elektrik voltajı düşer	Lee & ark. 2009
Potasyum dışarı kanalları GORK	OST1 kinaz doğrudan interaksyona girmez, ancak elektriksel voltaj değişiminden dolayı GORK kanalını şekli değişir	Kanal açılır, K^+ gibi iyonlar suyla birlikte hücre dışına çıkar	Lee & ark. 2009; Nguyen & ark. 2026
Potasyum içeri kanalları KAT1	OST1 doğrudan fosforile eder	Kanal kapanır, K^+ tekrar hücre içine girişi engellenir	Nguyen & ark. 2026
QUAC1/ALMR12 anyon kanalları	OST1 tarafından doğrudan hedef alınır	Hem hızlı hem yavaş anyon çıkış yollarının çalışmasını sağlar	Imes & ark. 2013
CNGC kalsiyum kanalları	OST1 tarafından doğrudan fosforile edilir	Kanal açılır ve en önemli seconder mesajcılardan olan Ca^{+2} katyonlarının hücre içine girişini sağlar	Tan & ark. 2026
AtCLCa klor kanalı a	Vakuol membrane üzerinde yer alır ve OST1 tarafından fosforile edilir.	Çift fonksiyonlu olan kanal Cl^-/H^+ karşılıklı değişimini yapar, vakuollerde depolanan anyonların sitoplazmaya geçişine izin verir	Samantara & ark. 2026
PIP2;1	OST1 tarafından doğrudan fosforile edilir	Kanal açılır ve hücre dışına su akışı hızlanır	Grondin & ark. 2015
Akuporinler (Su kanalları)	OST1 tarafından doğrudan fosforile edilir	İyon kanalı değil, ancak kök gelişimi için yapraklardan köklere sukroz pompalar	Chong & ark. 2022

5. SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Kurak koşullarda bitkiler fizyolojik değişimler yaparak verimi ve üremeyi düşürmektedirler. Ağır kuraklık dönemlerinde bitkilerin savunma sistemleri de zarar görürse bitkiler uzun süre yaşayamazlar. Kuraklık stresiyle mücadele de bitkiler hayatta kalmak için ozmotik düzenleme, antioksidant savunma ve hormon sinyalleriyle ilgili genlerin aktivasyonunu transkript faktörleriyle değiştirmektedirler. Çeşitli transkripsiyon faktörlerinden WRKY, NAC, bHLH ve bZIP molekülleri kuraklıkla ilgili hedef genlerin promoterlerinde yer alan cis elementlerine doğrudan bağlanarak genlerin çalışma düzenlerinde yeni ayarlamalar yapmaktadırlar. Böylece bitkilerin yaşam mücadelesine destek olmaktadır. Kuraklığın alarm verdiği günümüzde kuraklığa dayanıklı bitki ıslah programlarında ve genetik mühendisliğinde aday gen araştırma çalışmaları için bitkilerin geliştirdiği tepkilerin moleküler fizyolojisinin kapsamlı olarak açığa çıkarılması önem arz etmektedir. Bitkilerde en büyük transkripsiyon ailelerinden biri olan WRKY transkriptleri stresle ilgili pek çok genlerin ifade seviyelerinin düzenleyicisidir. Sonuç olarak bu çalışmada stres tepkilerinin daha ileri aşamalarında işlev yapan düzenleyici faktörlerden WRKY transkriptlerinin kuraklıkla ilgili sinyal ağ bağlantılarında ki fonksiyonel rolleri teorik olarak analiz edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Angidi S, Razzaq K. (2026). How WRKY transcription factors fine-tune specificity in plant stress responses: from W-box to regulatory code. *Molecular Biology Reports*, 53(1), 1148.
- Bakshi R, Banerjee S, Biswas T, Dasgupta N. (2026). Dehydration-Responsive Element-Binding (DREB) transcription factors: a key to enhancing plant tolerance against abiotic stresses. *Functional Plant Biology*, 53(7), FP25104.
- Chen X, Zhang T, Wang H, Zhao W, Guo Z. (2025). Transcription factor WRKY complexes in plant signaling pathways. *Phytopathology Research*, 7(1), 54.
- Chong L, Xu R, Ku L, Zhu Y. (2022). Beyond stress response: OST1 opening doors for plants to grow. *Stress Biology*, 2(1), 44.
- Chowdhary AA, Mishra S, Mehrotra S, Upadhyay SK, Bagal D, Srivastava V. (2023). Plant transcription factors: an overview of their role in plant life. *Plant Transcription Factors*, 3-20.
- Crook AD, Willoughby AC, Hazak O, Okuda S, VanDerMolen KR, Soyars CL., Cattaneo P, Clark NM, Sozzani R, Hothorn M, Hardtke CS, Nimchuk ZL. (2020). BAM1/2 receptor kinase signaling drives CLE peptide-mediated formative cell divisions in Arabidopsis roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(51), 32750–32756.
- Endo S, Fukuda H. (2024). A cell-wall-modifying gene-dependent CLE26 peptide signaling confers drought resistance in Arabidopsis. *PNAS nexus*, 3(2), pga049.
- Fidler J, Graska J, Gietler M, Nykiel M, Prabucka B, Rybarczyk-Płońska A, ... Labudda M. (2022). PYR/PYL/RCAR receptors play a vital role in the abscisic-acid-dependent responses of plants to external or internal stimuli. *Cells*, 11(8), 1352.
- Finatto T, Viana VE, Woyann LG, Busanello C, Maia LCD, Oliveira ACD. (2018). Can WRKY transcription factors help plants to overcome environmental challenges?. *Genetics and Molecular Biology*, 41(3), 533-544.
- Fujita Y, Fujita M, Satoh R, Maruyama K, Parvez MM, Seki M, ... Yamaguchi-Shinozaki K. (2005). AREB1 is a transcription activator of novel ABRE-dependent ABA signaling that enhances drought stress tolerance in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 17(12), 3470-3488.

- Grondin A, Rodrigues O, Verdoucq L, Merlot S, Leonhardt N, Maurel C. (2015). Aquaporins contribute to ABA-triggered stomatal closure through OST1-mediated phosphorylation. *The Plant Cell*, 27(7), 1945-1954.
- Imes D, Mumm P, Böhm J, Al-Rasheid KA, Marten I, Geiger D, Hedrich R. (2013). Open stomata 1 (OST 1) kinase controls R-type anion channel QUAC 1 in Arabidopsis guard cells. *The Plant Journal*, 74(3), 372-382.
- Isbel L, Grand RS, Schübeler D. (2022). Generating specificity in genome regulation through transcription factor sensitivity to chromatin. *Nature Reviews Genetics*, 23(12), 728-740.
- Javed T, Gao SJ. (2023). WRKY transcription factors in plant defense. *Trends in Genetics*, 39(10), 787-801.
- Jia C, Wang J, Guo B, Li X, Yang T, Yang H, ... Yu Q. (2023). A group III WRKY transcription factor, SIWRKY52, positively regulates drought tolerance in tomato. *Environmental and Experimental Botany*, 215, 105513.
- Jiang Y, Liang G, Yu D. (2012). Activated expression of WRKY57 confers drought tolerance in Arabidopsis. *Molecular Plant*, 5(6), 1375-1388.
- Jin J, Tian F, Yang DC, Meng YQ, Kong L, Luo J, Gao G. (2016). PlantTFDB 4.0: toward a central hub for transcription factors and regulatory interactions in plants. *Nucleic Acids Research*, gkw982.
- Kaur S, Adhikari A, Thapa P, Liu W, Dobrev PI., Vaculiková R, Lacek J, Park SW. (2025). A circadian clock RD29A is an esterase, relaying PGPR stimuli via RD29B and OPDA signaling in priming plant drought tolerance. *The Plant Journal : for Cell and Molecular Biology*, 122(2), e70185.
- Kim JS, Mizoi J, Yoshida T, Fujita Y, Nakajima J, Ohori T, ... Yamaguchi-Shinozaki K. (2011). An ABRE promoter sequence is involved in osmotic stress-responsive expression of the DREB2A gene, which encodes a transcription factor regulating drought-inducible genes in Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, 52(12), 2136-2146.
- Khoso MA, Hussain A, Ritonga FN, Ali Q, Channa MM, Alshegaihi RM, Meng Q, Ali M, Zaman W, Brohi RD, Liu F, Manghwar H. (2022). WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1039329.
- Kuromori T, Seo M, Shinozaki K. (2018). ABA transport and plant water stress responses. *Trends in Plant Science*, 23(6), 513-522.
- Le TH. (2026). Tracking Lipid Oxidation and Antioxidant Activity in Foods Using Calorimetry: Methods, Mechanisms, and Applications. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 128(4), e70093.
- Lee SC, Lan W, Buchanan BB, Luan S. (2009). A protein kinase-phosphatase pair interacts with an ion channel to regulate ABA signaling in plant guard cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(50), 21419-21424.
- Lee SJ, KangJY, Park HJ, Kim MD, Bae MS, Choi HI, Kim SY. (2010). DREB2C interacts with ABF2, a bZIP protein regulating abscisic acid-responsive gene expression, and its overexpression affects abscisic acid sensitivity. *Plant Physiology*, 153(2), 716-727.
- Li W, Pang S, Lu Z, Jin B. (2020). Function and mechanism of WRKY transcription factors in abiotic stress responses of plants. *Plants*, 9(11), 1515.
- Liang Y, Li X, Lei F, Yang R, Bai W, Yang, Q, Zhang D. (2024). Transcriptome Profiles Reveals ScDREB10 from *Syntrichia caninervis* Regulated Phenylpropanoid Biosynthesis and Starch/Sucrose Metabolism to Enhance Plant Stress Tolerance. *Plants*, 13(2), 205.

- Liao, Z., Chen, B., Boubakri, H., Farooq, M., Mur, L. A. J., Urano, D., ... & Fan, J. (2025). The regulatory role of phytohormones in plant drought tolerance. *Planta*, 261(5), 98.
- Ma Z. Hu L. (2024). WRKY transcription factor responses and tolerance to abiotic stresses in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6845.
- Michalak A, Małas K, Dąbrowska K, Półrolniczak K, Bronowska L, Misiewicz A, Maj A, Stabrowska M, Wnuk I, Kabala K. (2026). Molecular Mechanisms and Experimental Strategies for Understanding Plant Drought Response. *Plants*, 15(1), 149.
- Modarresi M, Eyvazi A. (2014). Bioinformatical evaluation of desiccation-responsive rd29A gene in *Arabidopsis thaliana*. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 17(1), 80-85.
- Narusaka Y, Nakashima K, Shinwari ZK, Sakuma Y, Furihata T, Abe H, Narusaka M, Shinozaki K, Yamaguchi-Shinozaki K. (2003). Interaction between two cis-acting elements, ABRE and DRE, in ABA-dependent expression of *Arabidopsis* rd29A gene in response to dehydration and high-salinity stresses. *The Plant Journal : for Cell and Molecular Biology*, 34(2), 137–148.
- Nguyen T H, Zhang X, Klejchova M, Nguyen TBA, Zhang P, Blatt MR. (2026). What defines a gate? The enigmas of K⁺ channel structural mechanics. *Trends in Plant Science*.
- Pei D, Hua D, Deng J, Wang Z, Song C, Wang Y, ... Gong Z. (2022). Phosphorylation of the plasma membrane H⁺-ATPase AHA2 by BAK1 is required for ABA-induced stomatal closure in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 34(7), 2708-2729.
- Polizel AM, Medri ME, Nakashima K, Yamanaka N, Farias JRB, De Oliveira MC, ... Nepomuceno AL. (2011). Molecular, anatomical and physiological properties of a genetically modified soybean line transformed with rd29A: AtDREB1A for the improvement of drought tolerance. *Genetics and Molecular Research*, 10(4), 3641-56.
- Ren X, Chen Z, Liu Y, Zhang H, Zhang M, Liu Q, ... Gong Z. (2010). ABO3, a WRKY transcription factor, mediates plant responses to abscisic acid and drought tolerance in *Arabidopsis*. *The Plant Journal*, 63(3), 417-429.
- Riechmann JL, Heard J, Martin G, Reuber L, Jiang CZ, Keddie J, ... Yu, GL. (2000). *Arabidopsis* transcription factors: genome-wide comparative analysis among eukaryotes. *Science*, 290(5499), 2105-2110.
- Samantara K, Laul E, Meigas E, Siil I, Vålbe M, Kollist H, ... Merilo E. (2026). *Arabidopsis* OST1 homologs of barley are involved in stomatal regulation. *Journal of Experimental Botany*, 77(10), 3150-3160.
- Sato H, Takasaki H, Takahashi F, Suzuki T, Iuchi S, Mitsuda N, ... Shinozaki K. (2018). *Arabidopsis thaliana* NGATHA1 transcription factor induces ABA biosynthesis by activating NCED3 gene during dehydration stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), E11178-E11187.
- Song X, Hou X, Zeng Y, Jia D, Li Q, Gu Y, Miao H. (2023). Genome-wide identification and comprehensive analysis of WRKY transcription factor family in safflower during drought stress. *Scientific Reports*, 13(1), 16955.
- Takahashi F, Kuromori T, Urano K, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. (2020). Drought Stress Responses and Resistance in Plants: From Cellular Responses to Long-Distance Intercellular Communication. *Frontiers in Plant Science*, 11, 556972.
- Tan YQ, Ren YY, Yang Y, Wang J, Yu B, Wang X, ... Wang YF. (2026). CPKs are involved in Ca²⁺ signaling encoding by enhancing OST1-initiated Ca²⁺ influx for ABA-induced stomatal closure in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 123(27), e2537976123.

- Umezawa T, Sugiyama N, Mizoguchi M, Hayashi S, Myouga F, Yamaguchi-Shinozaki K. ... Shinozaki K. (2009). Type 2C protein phosphatases directly regulate abscisic acid-activated protein kinases in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 106(41), 17588-17593.
- Waseem M, Hasan MM, Hazzazi Y, Alharbi BM, Ghani MU, Ahmad P, Carriquí M. (2025). Potential mechanisms for the rapid post-drought reversal of ABA-induced stomatal closure by melatonin, 5-aminolevulinic acid, and brassinosteroids. *Photosynthetica*, 63(2), 104–115.
- Xiao Q, Wang Y, Shang X, Chen Y, Zhang M, Zhou Y, ... Liu Y. (2026). Structural basis for sequence-specific DNA recognition by a group IId WRKY transcription factor GhWRKY17 in cotton. *Biochemical Journal*, 483(2), 149-160.
- Xu YP, Xu H, Wang B, Su XD. (2020). Crystal structures of N-terminal WRKY transcription factors and DNA complexes. *Protein & Cell*, 11(3), 208-213.
- Zhu JK. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313-324.

TEK FAZLI SPWM İNVERTERLERDE ANAHTARLAMA FREKANSININ HARMONİK PERFORMANS VE GÜÇ KAYIPLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN TEORİK ANALİZİ

Mehmet Bahaddin Fırat

MEGE TEKNİK A.Ş., Embedded Software Engineer, 06980, Kahramankazan/Ankara

ORCID ID: 0009-0004-5245-2807

ÖZET

Bu çalışmada, tek fazlı tam köprü bir sinüzoidal darbe genişlik modülasyonlu (SPWM) inverterde anahtarlama frekansının harmonik performans, çıkış filtresi davranışı ve güç kayıpları üzerindeki etkisi teorik olarak incelenmiştir. Ele alınan inverter sistemi, 400 V doğru akım ara bara geriliminden 220 V RMS ve 50 Hz alternatif gerilim üretmek üzere tasarlanmıştır. İnverter çıkışında 654 μ H endüktans ve 10 μ F kondansatörden oluşan bir LC filtre bulunmaktadır. Çalışmada 20 kHz ve 40 kHz anahtarlama frekansları; DC bara gerilimi, temel çıkış frekansı, modülasyon yöntemi ve filtre parametreleri sabit kabul edilerek karşılaştırılmıştır.

Teorik analiz kapsamında SPWM yönteminin çalışma prensibi, frekans modülasyon oranı, anahtarlama frekansı çevresinde oluşan harmonik kümeleri, toplam harmonik bozulma kavramı ve LC filtrenin frekansa bağlı zayıflatma karakteristiği ele alınmıştır. İncelenen LC filtrenin ideal rezonans frekansı yaklaşık 1,97 kHz olarak hesaplanmıştır. İdeal ikinci dereceden filtre yaklaşımına göre 20 kHz anahtarlama bileşeninin yaklaşık 40,3 dB, 40 kHz bileşeninin ise yaklaşık 52,3 dB zayıflatılabileceği belirlenmiştir. Buna göre anahtarlama frekansının iki katına çıkarılması, ideal koşullarda filtre çıkışındaki anahtarlama bileşenleri için yaklaşık 12 dB ek zayıflatma sağlamaktadır. Ayrıca endüktör akım dalgalanmasının yaklaşık yarıya inmesi beklenmektedir.

Bununla birlikte anahtarlama frekansının artırılması; anahtarlama ve gate sürme kayıplarını, mikrodnetleyici işlem yükünü ve ölü zamanın göreceli etkisini artırırken sayısal PWM çözünürlüğünü azaltmaktadır. Teorik sonuçlar, yüksek anahtarlama frekansının özellikle taşıyıcı frekans çevresindeki harmonik bileşenlerin bastırılması açısından avantajlı olduğunu; ancak düşük dereceli harmoniklerin yalnızca frekans artırılarak ortadan kaldırılamayacağını göstermektedir. Uygun anahtarlama frekansının belirlenmesi, harmonik performans, verim, termal zorlanma ve dijital kontrol olanakları arasında bir tasarım uzlaşması gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tek fazlı inverter, SPWM, anahtarlama frekansı, harmonik analiz, toplam harmonik bozulma, LC filtre, anahtarlama kayıpları.

THEORETICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF SWITCHING FREQUENCY ON HARMONIC PERFORMANCE AND POWER LOSSES IN A SINGLE-PHASE SPWM INVERTER

ABSTRACT

This study theoretically investigates the effect of switching frequency on harmonic performance, output-filter behavior, and power losses in a single-phase full-bridge sinusoidal pulse-width-modulated (SPWM) inverter. The investigated inverter system is designed to generate a 220 V RMS, 50 Hz AC output from a 400 V DC-link voltage. An LC filter consisting of a 654 μ H inductor and a 10 μ F capacitor is employed at the inverter output. Switching frequencies of 20 kHz and 40 kHz are compared while the DC-link voltage, fundamental output frequency, modulation method, and filter parameters are kept constant.

The theoretical analysis covers the operating principle of the SPWM method, the frequency modulation ratio, harmonic clusters formed around the switching frequency, the concept of total harmonic distortion, and the frequency-dependent attenuation characteristics of the LC filter. The ideal resonant frequency of the investigated LC filter is calculated to be approximately 1.97 kHz. According to the ideal second-order filter approximation, the 20 kHz switching component can be attenuated by approximately 40.3 dB, whereas the 40 kHz component can be attenuated by approximately 52.3 dB. Therefore, doubling the switching frequency provides approximately 12 dB of additional attenuation for the switching components at the filter output under ideal conditions. In addition, the inductor current ripple is expected to decrease by approximately half.

However, increasing the switching frequency increases switching and gate-drive losses, the computational load on the microcontroller, and the relative effect of dead time, while reducing the digital PWM duty-cycle resolution. The theoretical results indicate that a higher switching frequency is particularly advantageous for suppressing harmonic components around the carrier frequency. Nevertheless, low-order harmonics cannot be eliminated solely by increasing the switching frequency. Determining an appropriate switching frequency therefore requires a design trade-off among harmonic performance, efficiency, thermal stress, and digital control capabilities.

Keywords: Single-phase inverter, SPWM, switching frequency, harmonic analysis, total harmonic distortion, LC filter, switching losses.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi doğru akım ve alternatif akım olmak üzere iki temel biçimde kullanılmaktadır. Batarya, güneş paneli ve çeşitli güç kaynakları genellikle doğru akım üretirken, evlerde ve endüstriyel sistemlerde kullanılan birçok cihaz alternatif akımla çalışmaktadır. Doğru akım enerjisini alternatif akıma dönüştüren güç elektroniği devrelerine inverter adı verilmektedir.

İnverterler; kesintisiz güç kaynakları, güneş enerjisi sistemleri, elektrikli araçlar, motor sürücüler ve enerji depolama uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir inverterin temel görevi, doğru gerilimi istenen genlik ve frekansta alternatif gerilime dönüştürmektir. Ancak inverterde kullanılan anahtarlama elemanları yalnızca açma ve kapama durumlarında çalıştığından, elde edilen gerilim doğrudan ideal bir sinüs dalgası şeklinde oluşmaz. Bu nedenle çıkış geriliminin sinüzoidal bir yapıya yaklaştırılması ve istenmeyen yüksek frekanslı bileşenlerin azaltılması gerekir.

İnverter çıkışını sinüs biçimine dönüştürmek amacıyla darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanılmaktadır. Bu yöntemde güç anahtarlarının açık kalma süreleri değiştirilerek çıkışa aktarılan ortalama gerilim kontrol edilir. Görev oranının bir sinüs referansına göre değiştirilmesiyle uygulanan yöntem sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) adı verilir.

Anahtarlama frekansının yeterince yüksek seçilmesi, çıkış geriliminin daha küçük zaman aralıklarında kontrol edilmesini ve anahtarlama sonucunda oluşan dalgalanmaların filtrelenmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak frekansın yükseltilmesi her zaman daha iyi bir inverter anlamına gelmemektedir [11]. Yarı iletken anahtarlar ideal elemanlar değildir. Her açılma ve kapanma sırasında anahtar üzerinde kısa bir süre boyunca hem gerilim hem de akım bulunmakta ve enerji kaybı meydana gelmektedir. Anahtarlama sayısı arttıkça bir saniye içerisinde gerçekleşen toplam enerji kaybı da yükselmektedir [5]. Bu nedenle anahtarlama frekansı seçilirken çıkış dalga biçimi ile sistem verimi arasında bir denge kurulması gerekir.

Inverterin çıkış gerilimi, teoride tamamen düzgün bir 50 Hz'lik sinüs dalgası olmalıdır. Ancak gerçek bir inverterin çıkışı incelendiğinde, bu temel bileşenin yanında, temel frekansın tam sayı katlarında ortaya çıkan ve genellikle çok daha küçük genlikli ek frekans bileşenleri de görülür. Bu ek bileşenlere harmonik adı verilir Harmoniklerin varlığı ve büyüklüğü, çıkış geriliminin ne kadar 'temiz' bir sinüs dalgasına benzediğini doğrudan belirler; bu nedenle harmonikler, inverter tasarımının kalitesini değerlendirmede en temel ölçütlerden biridir. Tüm harmoniklerin birlikte oluşturduğu toplam bozulma miktarı, toplam harmonik bozulma yani THD (Total Harmonic Distortion) değeriyle ifade edilir.

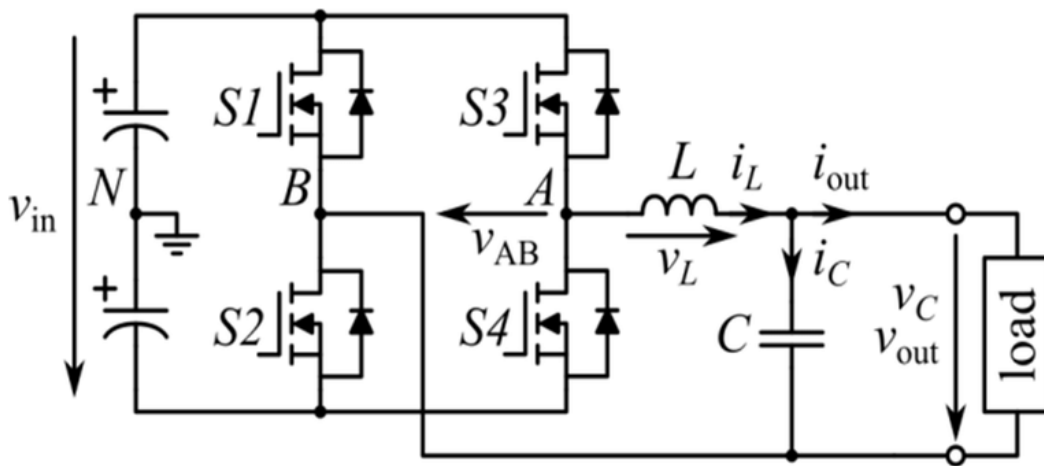
Anahtarlama frekansının yükseltilmesi harmonikleri tamamen ortadan kaldırmaz; anahtarlama kaynaklı bileşenleri daha yüksek frekans bölgelerine taşır [9] [11]. Bu bileşenler inverter çıkışında kullanılan LC filtre tarafından daha etkili biçimde bastırılabilir. Ancak düşük dereceli harmonikler; ölü zaman, PWM çözünürlüğü, DC bara dalgalanması, kontrol yöntemi ve yük yapısı gibi farklı etkenlerden de kaynaklanabilir [8].

Bu çalışmada, 400 V DC giriş geriliminden 220 V RMS ve 50 Hz AC gerilim üreten tek fazlı tam köprü SPWM inverter ele alınmıştır. İnverter çıkışında 654 μ H endüktans ve 10 μ F kondansatörden oluşan bir LC filtre bulunmaktadır. Çalışmanın amacı, 20 kHz ve 40 kHz anahtarlama frekanslarının harmonik performans, filtre davranışı, endüktör akım dalgalanması, PWM çözünürlüğü, ölü zaman etkisi ve güç kayıpları üzerindeki sonuçlarını teorik olarak karşılaştırmaktır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Tek Fazlı Tam Köprü İnverter ve SPWM Yöntemi

Tek fazlı tam köprü inverterlerde doğru akım geriliminin alternatif gerilime dönüştürülmesi, yarı iletken anahtarların uygun bir anahtarlama stratejisiyle kontrol edilmesiyle gerçekleştirilir. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM), istenen temel çıkış dalga şeklini elde etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.



Şekil 1. LC Çıkış Filtreli Tam Köprü İnverter

Tek fazlı tam köprü inverter, 4 adet kontrollü yarı iletken anahtardan oluşmaktadır. Bu anahtarlar iki adet yarım köprü kol oluşturacak şekilde bağlanır. Yük, iki yarım köprü kolunun

orta noktaları arasına bağlanır. Uygun anahtar çiftlerinin ilettime geçirilmesiyle yük uçlarına pozitif DC bara gerilimi uygulanır.

Aynı inverter kolunda bulunan üst ve alt anahtarların eş zamanlı ilettime geçirilmemesi gerekir. Bu iki anahtar aynı anda açılırsa DC bara doğrudan kısa devre edilir ve çok yüksek bir akım oluşur. Bu nedenle sürme sinyalleri birbirinin tamamlayıcısı olarak oluşturulur ve anahtarlama geçişleri arasına ölü zaman eklenir.

SPWM'de çıkış dalga şeklini ve anahtarlama davranışını belirleyen iki temel oran kullanılır: biri referans sinüsün genliğiyle ilgilidir, diğeri ise anahtarlama hızıyla ilgilidir. Bunlardan ilki, genlik modülasyon oranıdır ve çıkış geriliminin genliğini kontrol eder:

$$m_a = \frac{V_{ref}}{V_{carrier}}$$

Burada V_{ref} , sinüs referans işaretinin genliğini; $V_{carrier}$ ise üçgen taşıyıcının genliğini göstermektedir. Üçgen taşıyıcı, anahtarlama frekansında sürekli yükselip alçalan, sabit genlikli bir referans sinyalidir; sinüs referansı bu üçgen dalgayla anlık olarak karşılaştırılarak her an anahtarın açık mı kapalı mı olacağına karar verilir; sinüs, üçgenden büyükse anahtar açık, küçükse kapalı konuma geçer. Doğrusal modülasyon bölgesinde m_a değerinin yükseltilmesi, inverter çıkışındaki temel gerilim bileşenini artırmaktadır.

Tam köprü inverter için temel gerilimin tepe değeri yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$V_{peak} \approx m_a \times V_{DC}$$

220 V RMS çıkış geriliminin tepe değeri:

$$V_{peak} = \sqrt{2} \times V_{RMS}$$

olarak hesaplanır. DC bara gerilimi 400 V olduğuna göre gerekli teorik modülasyon oranı:

$$m_a \approx \frac{311,1}{400} \approx 0,778$$

olmaktadır. Bu değer, ideal koşullarda inverterin doğrusal modülasyon bölgesinde çalışabileceğini göstermektedir. SPWM'de referans sinüsün genliği taşıyıcı sinyalin genliğini aşmadığı sürece ($m_a \leq 1$), çıkış gerilimindeki temel bileşen doğrusal olarak m_a ile orantılı şekilde değişir; bu aralık doğrusal modülasyon bölgesi olarak adlandırılır. m_a değerinin 1'i aşması durumunda ise aşırı modülasyon (overmodulation) bölgesine girilir ve çıkış geriliminin temel bileşeni ile m_a arasındaki doğrusal ilişki bozulur, ayrıca ek düşük dereceli harmonikler ortaya çıkabilir. Hesaplanan m_a değeri 1'in altında olduğundan, bu değer inverterin ideal koşullarda doğrusal modülasyon bölgesinde çalışabileceğini göstermektedir [11]. Gerçek uygulamada yarı iletken gerilim düşümleri, ölü zaman, filtre gerilim düşümü ve DC bara değişimleri nedeniyle gerekli modülasyon oranı bir miktar farklı olabilir [2].

İkinci temel oran frekans modülasyon oranıdır:

$$m_f = f_{sw} / f_o$$

Burada f_{sw} anahtarlama frekansını, f_o ise temel çıkış frekansını göstermektedir. Temel frekansın 50 Hz olduğu sistem için 20 kHz anahtarlama durumunda:

$$m_{f,20} = \frac{20000}{50} = 400$$

40 kHz anahtarlama durumunda ise:

$$m_{f,40} = \frac{40000}{50} = 800$$

elde edilmektedir. Buna göre bir adet 50 Hz sinüs periyodu içerisinde 20 kHz’de 400, 40 kHz’de ise 800 anahtarlama periyodu bulunmaktadır.

2.2. Harmonikler ve Toplam Harmonik Bozulma

Gerçek bir inverterin çıkış gerilimi ve akımı yalnızca 50 Hz temel frekans bileşeninden oluşmamaktadır. Temel frekansın tam sayı katlarında ortaya çıkan istenmeyen frekans bileşenlerine harmonik adı verilir. Bu bileşenlerin genliklerinin artması, çıkış dalga şeklinin ideal sinüs biçiminden uzaklaşmasına neden olmaktadır.

Periyodik bir gerilim veya akım dalga şekli, Fourier serisi yardımıyla farklı frekanslara sahip sinüs ve kosinüs bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilebilir. Genel bir periyodik gerilim:

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

şeklinde gösterilebilir. Burada (n=1) olan terim temel frekans bileşenini, (n>1) olan terimler ise harmonikleri temsil etmektedir.

Gerilim toplam harmonik bozulması:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \times 100$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Benzer şekilde akım için:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \times 100$$

bağıntısı kullanılır. Burada V_1 ve I_1 temel frekansın gerilim ve akım RMS değerlerini, diğer terimler ise harmoniklerin RMS değerlerini göstermektedir.

SPWM inverterlerde harmonik bileşenler genel olarak düşük dereceli harmonikler ve anahtarlama kaynaklı yüksek frekanslı harmonikler olmak üzere iki grupta incelenebilir. 3., 5., 7., 9. ve 11. harmonikler gibi düşük dereceli bileşenler; ölü zaman, DC bara gerilimindeki dalgalanmalar, PWM çözünürlüğü, kontrol yöntemi ve yükün doğrusal olmayan yapısı gibi etkenlerden kaynaklanabilmektedir. Bu harmonikler temel frekansa yakın bölgede bulunduğundan çıkış dalga şeklinin sinüsten sapmasına doğrudan katkıda bulunmaktadır.

Buna karşılık anahtarlama kaynaklı harmonikler, genellikle taşıyıcı frekansı ve bu frekansın katları çevresinde kümelenmektedir. Anahtarlama frekansının 20 kHz’den 40 kHz’e yükseltilmesiyle bu bileşenler daha yüksek frekans bölgesine taşınmakta ve LC filtre tarafından daha güçlü biçimde zayıflatılabilmektedir [9]. Bununla birlikte bu değişim, düşük dereceli harmoniklerin aynı oranda azalacağını garanti etmemektedir [7] [8].

Bu nedenle anahtarlama frekanslarının teorik karşılaştırılmasında iki harmonik bölgesinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekir. İlk değerlendirme 3., 5., 7., 9. ve 11. harmonikler gibi düşük dereceli bileşenleri, ikinci değerlendirme ise taşıyıcı frekansı ve katları çevresinde oluşan yüksek frekanslı harmonik spektrumu kapsamalıdır.

SPWM spektrumunda bileşenler genellikle taşıyıcı frekansın ve taşıyıcı frekans katlarının çevresinde yan bantlar hâlinde ortaya çıkar [9]:

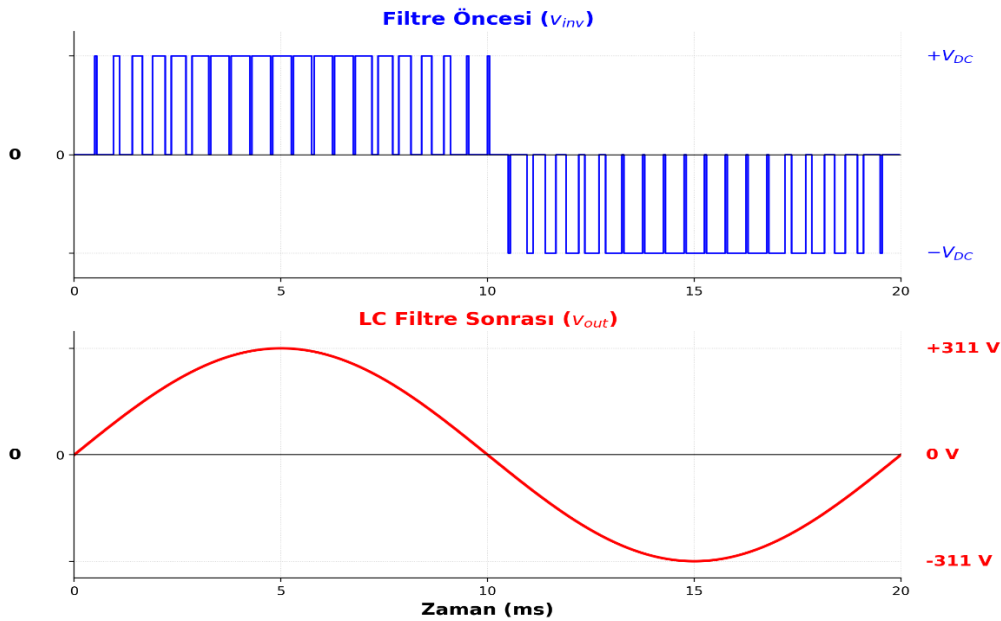
$$f_h = kf_{sw} \pm nf_o$$

Burada (k), taşıyıcı frekans katını; (n) ise temel frekans ile ilişkili yan bant mertebesini ifade eder.

20 kHz uygulamasında baskın yüksek frekanslı bileşenler 20 kHz, 40 kHz ve bunların çevresinde bulunurken; 40 kHz uygulamasında bu kümeler 40 kHz, 80 kHz ve daha yüksek frekanslara taşınır. Çıkış filtresi alçak geçiren yapıda olduğundan yüksek frekanslara taşınan bileşenler daha fazla zayıflatılır [11].

2.3. LC Çıkış Filtresinin Teorik Analizi

SPWM inverterin filtresiz çıkış gerilimi, temel sinüs bileşeninin yanında yüksek frekanslı anahtarlama bileşenleri içerir. LC çıkış filtresinin görevi, 50 Hz temel bileşeni mümkün olduğunca değiştirmeden geçirmek ve anahtarlama frekansı çevresindeki yüksek frekanslı bileşenleri bastırmaktır [4].



Şekil 2. Filtre öncesi PWM çıkışı ve filtre sonrası sinüse yakın çıkış gerilimi

İncelenen sistemde:

$$L = 654 \mu H$$

$$C = 10 \mu F$$

olarak verilmiştir. İdeal LC filtrenin rezonans frekansı:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Değerler yerine yazıldığında:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{654 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6}}} \approx 1968,03 \text{ Hz} \approx 1,97 \text{ kHz}$$

elde edilmektedir. Buna göre filtre rezonans frekansı yaklaşık 1,97 kHz'dir.

Rezonans frekansı, 50 Hz temel çıkış frekansından yaklaşık 39 kat daha yüksektir:

$$\frac{f_r}{f_o} = \frac{1968}{50} \approx 39,4$$

Bu nedenle ideal durumda filtre, 50 Hz temel bileşen üzerinde sınırlı bir etki oluştururken yüksek frekanslı PWM bileşenlerini bastırabilir.

İdeal ve yüksüz bir LC filtresinin yüksek frekans bölgesindeki genlik davranışı yaklaşık olarak:

$$|H(j\omega)| \approx \left(\frac{f_r}{f_{sw}}\right)^2$$

biçiminde ifade edilebilir. Buna göre 20 kHz için:

$$|H_{20}| \approx \left(\frac{1968}{20000}\right)^2 \approx 0,00968$$

ve desibel cinsinden:

$$20 \log_{10} |H_{20}| \approx -40,3 \text{ dB}$$

elde edilir.

40 kHz için:

$$|H_{40}| \approx \left(\frac{1968}{40000}\right)^2 \approx 0,00242$$

ve:

$$20 \log_{10} |H_{40}| \approx -52,3 \text{ dB}$$

bulunur.

Dolayısıyla ideal filtre yaklaşımında anahtarlama frekansının 20 kHz'den 40 kHz'e çıkarılması: $-52,3 - (-40,3) \approx -12,0 \text{ dB}$

ek zayıflatma sağlayabilir. 12 dB'lık fark, gerilim genliği bakımından yaklaşık dört katlık bir azalmaya karşılık gelmektedir.

Bu sonuç ideal bir teorik yaklaşımdır. Gerçek filtre davranışı; yük direnci, endüktörün seri direnci, kondansatörün eş değer seri direnci, kablo ve PCB parazitleri, kondansatörün frekansa bağlı özellikleri ve filtre sönümlemesi tarafından belirlenir [12] [13]. Ayrıca rezonans çevresinde yeterli sönümleme bulunmadığında LC filtre belirli frekans bileşenlerini büyütebilir. Bu nedenle gerçek tasarımda yük etkisini içeren transfer fonksiyonu kullanılmalıdır.

2.4. Anahtarlama Frekansının Endüktör Akım Dalgalanmasına Etkisi

Anahtarlama frekansı yalnızca harmonik spektrumun hangi bölgede yoğunlaştığını değil, aynı zamanda çıkış filtresindeki endüktörden geçen akımın ne kadar 'pürüzsüz' olduğunu da belirler. PWM anahtarlama sırasında endüktör uçlarındaki gerilim sürekli olarak +VDC, 0 ve -VDC seviyeleri arasında geçiş yaptığından, endüktör akımı da ortalama değeri etrafında küçük ve hızlı dalgalanmalar gösterir. Bu dalgalanma genliği, hem filtre kondansatörüne binen yüksek frekanslı akım yükünü hem de çıkış geriliminin pürüzsüzlüğünü doğrudan etkiler [10]. Bu bölümde, anahtarlama frekansının bu yüksek frekanslı akım dalgalanması (ripple) üzerindeki etkisi teorik olarak incelenmektedir.

Filtre endüktörünün uçlarındaki gerilim:

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

bağıntısıyla ifade edilir. Buradan bir anahtarlama aralığındaki akım değişimi yaklaşık olarak:

$$\Delta I_L \approx \frac{V_L \Delta t}{L}$$

şeklinde yazılabilir. Anahtarlama süresi frekansın tersi olduğundan:

$$\Delta t \propto \frac{1}{f_{sw}}$$

ve dolayısıyla:

$$\Delta I_L \propto \frac{1}{Lf_{sw}}$$

sonucuna ulaşılır.

DC bara gerilimi, çıkış gerilimi, görev oranı ve endüktans sabit kabul edilirse 20 kHz ile 40 kHz arasındaki akım dalgalanması oranı:

$$\frac{\Delta I_{L,40}}{\Delta I_{L,20}} = \frac{f_{sw,20}}{f_{sw,40}} = \frac{20}{40} = 0,5$$

olmaktadır.

Buna göre 40 kHz anahtarlama frekansında filtre endüktörünün yüksek frekanslı akım dalgalanmasının teorik olarak 20 kHz'deki değerin yaklaşık yarısına düşmesi beklenir. Daha düşük endüktör akım dalgalanması, kondansatöre akan yüksek frekanslı akımın ve çıkış gerilimindeki anahtarlama ripple' ının azalmasına katkı sağlar.

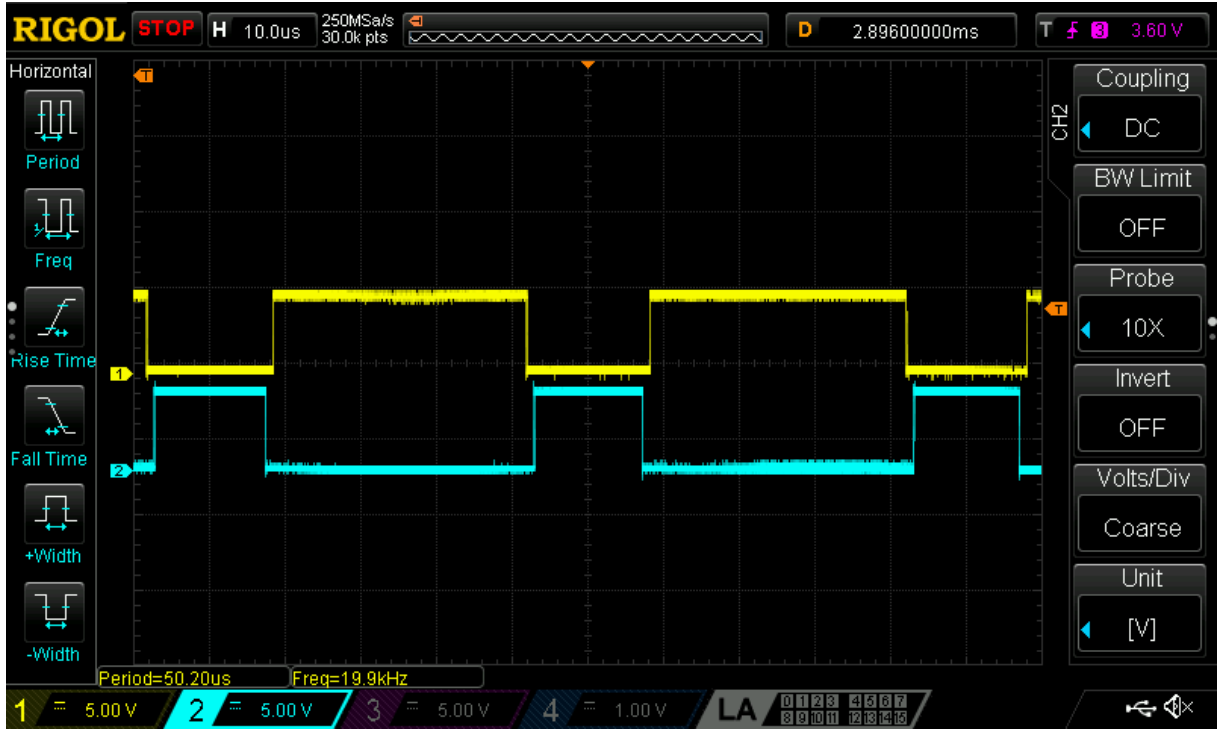
Ancak bu ilişki, anahtarlama ripple' ı için geçerlidir. Yük akımında bulunan düşük dereceli harmoniklerin tamamının yarıya düşeceği anlamına gelmez. Özellikle doğrultucu girişli elektronik yükler, şebeke geriliminin yalnızca tepe bölgelerinde akım çekebilir. Böyle bir yükte akım dalga biçiminin bozulması büyük ölçüde yükün doğrusal olmayan yapısından kaynaklanır ve anahtarlama frekansının yükseltilmesi akım THD' sinde sınırlı bir iyileşme sağlayabilir [14].

2.5. Ölü Zamanın Harmonik Performans Üzerindeki Etkisi

Tam köprü inverterin aynı kolunda bulunan üst ve alt anahtarların aynı anda ilettime girmesini önlemek için sürme sinyallerinin arasına kısa bir bekleme süresi eklenir. Bu süre ölü zaman olarak adlandırılır. Ölü zaman güç anahtarlarını kısa devreden korumak için gerekli olmakla birlikte çıkış geriliminde bir hata oluşturur [2].

Şekil 3'de, inverterin 20 kHz anahtarlama frekansındaki tamamlayıcı PWM sürme sinyalleri osiloskop üzerinde gösterilmektedir. Görüntüde sarı ve mavi kanalların aynı anda iletimde olmadığı, anahtarlama geçişleri sırasında iki sinyal arasında kısa bir boşluk bırakıldığı görülmektedir.

Bu bekleme süresi güvenlik için gerekli olsa da, çıkış gerilimimizde küçük bir hataya yol açıyor ve anahtarlama hızı arttıkça bu hatanın toplam periyoda oranı büyüyor ve harmoniklerimiz artış gösteriyor.



Şekil 3. Tamamlayıcı PWM sinyalleri arasındaki ölü zamanın osiloskop görüntüsü.

Ölü zaman sırasında her iki anahtar da kapalıdır ve yük akımı, yönüne bağlı olarak MOSFET gövde diyotları veya ters iletim yolu üzerinden akmaya devam eder. Bu sırada inverter çıkışında meydana gelen gerçek gerilim, ideal SPWM algoritmasının uygulamak istediği gerilimden farklı olabilir. Gerilim hatasının yönü yük akımının yönüne bağlı olduğundan özellikle akımın sıfırdan geçtiği bölgelerde doğrusal olmayan bir bozulma ortaya çıkar [2] [7]. SPWM inverterlerde ölü zamanın düşük dereceli harmonikler oluşturabildiği ve etkisinin harmonik analiz yöntemleriyle hesaplanabildiği gösterilmiştir [2] [7].

Anahtarlama periyotları:

$$T_{SW,20} = \frac{1}{20000} = 50 \mu s$$

$$T_{SW,40} = \frac{1}{40000} = 25 \mu s$$

olarak hesaplanır.

Bir anahtarın kapanması ile tamamlayıcı anahtarın açılması arasında 1 μs etkin ölü zaman bulunduğu kabul edilirse:

$$\frac{t_d}{T_{SW,20}} = \frac{1}{50} = 2\%$$

$$\frac{t_d}{T_{SW,40}} = \frac{1}{25} = 4\%$$

olmaktadır. Aynı ölü zaman korunurken anahtarlama frekansının iki katına çıkarılması, ölü zamanın bir PWM periyoduna oranını da iki katına çıkarmaktadır. Toplam etkili boşluk süresi 2 μs kabul edilirse bu oranlar sırasıyla yüzde 4 ve yüzde 8 olur.

Ayrıca bir saniye içerisindeki anahtarlama geçişi sayısı da iki katına çıktığından ölü zaman kaynaklı gerilim hatalarının tekrar sayısı artar. Bu durum 40 kHz’de filtreleme performansı iyileşmesine rağmen düşük dereceli harmoniklerde beklenen iyileşmenin elde edilememesine yol açabilir.

Bu nedenle anahtarlama frekansı değiştirilirken ölü zamanın sabit tutulması yerine kullanılan MOSFET’lerin kapanma gecikmesi, gate driver özellikleri, sıcaklık değişimi ve güvenlik payı dikkate alınarak yeniden değerlendirilmesi gerekir [6]. Ölü zamanın gereğinden fazla azaltılması çapraz iletim riskini artırırken, gereğinden fazla artırılması çıkış gerilim bozulmasını yükseltir [2].

2.6. PWM Çözünürlüğünün Harmonik Performans Üzerindeki Etkisi

Mikrodenetleyiciler PWM işaretini belirli sayıda zamanlayıcı sayımı kullanarak üretir. PWM periyodundaki sayım miktarı yükseldikçe görev oranı daha küçük adımlarla değiştirilebilir. Bu durum PWM çözünürlüğünü belirler.

PWM çözünürlüğü yaklaşık olarak:

$$N_{PWM} = \frac{f_{clk}}{f_{sw}}$$

Bağıntısıyla değerlendirilebilir. Mikrodenetleyici zamanlayıcı saatinin 64 MHz olduğu ideal durumda 20 kHz için:

$$N_{PWM,20} = \frac{64.000.000}{20.000} = 3200$$

sayım elde edilir. 40 kHz için ise:

$$N_{PWM,40} = \frac{64.000.000}{40.000} = 1600$$

sayım bulunmaktadır.

Anahtarlama frekansının iki katına çıkarılması PWM periyot sayımını (NPWM) yarıya düşürmekte, dolayısıyla bir PWM periyodu içerisinde kullanılabilecek ayırık görev oranı basamak sayısını da yarıya indirmektedir. Bunun sonucunda görev oranı 20 kHz’e göre yaklaşık iki kat daha büyük adımlarla değiştirilebilmektedir.

PWM çözünürlüğünün azalması, referans sinüsün genliğinin daha büyük sayısal adımlarla oluşturulmasına neden olur. Özellikle sinüs dalgasının tepe ve sıfır geçiş bölgelerinde ardışık görev oranları arasında kuantalama hataları meydana gelebilir. Bu hatalar düşük genlikli harmonik bileşenler ve çıkış ripple’ı oluşturabilir.

2.7. Anahtarlama ve Gate Sürme Kayıpları

Güç MOSFET’i tamamen açık durumda ideal olmayan bir iletim direncine sahiptir. Bu nedenle iletim sırasında:

$$P_{cond} = I_{RMS}^2 R_{DS(on)}$$

şeklinde ifade edilen iletim kaybı meydana gelir. Anahtarlama frekansının değiştirilmesi, aynı akım ve sıcaklık koşullarında iletim kayıplarını doğrudan büyük ölçüde değiştirmez. Ancak artan anahtarlama kayıpları MOSFET sıcaklığını yükseltirse $R_{DS(on)}$ değeri artabilir ve iletim kaybı dolaylı olarak yükselebilir [6].

MOSFET'in açılma ve kapanma geçişleri sıfır sürede gerçekleşmez. Geçiş sırasında drain-source gerilimi ile drain akımı kısa bir süre boyunca aynı anda sıfırdan farklıdır. Bu gerilim-akım çakışması enerji kaybı oluşturur. Anahtarlama kaybı yaklaşık olarak:

$$P_{SW} = f_{SW}(E_{on} + E_{off})$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Bu formülde E_{on} bir açılma olayında, E_{off} ise bir kapanma olayında kaybedilen enerjidir. Infineon'un MOSFET tasarım kılavuzunda anahtarlama kayıplarının, açılma ve kapanma enerjilerinin toplamı ile anahtarlama frekansının çarpımı olarak hesaplanabileceği belirtilmektedir [6].

Anahtarlama başına kaybedilen enerjinin değişmediği basitleştirilmiş durumda:

$$\frac{P_{SW,40}}{P_{SW,20}} = \frac{40.000}{20.000} = 2$$

olmaktadır. Buna göre 40 kHz anahtarlama kaybının 20 kHz'deki kaybın yaklaşık iki katına yaklaşması beklenir.

Gerçek sistemde E_{on} ve E_{off} sabit değildir. Bu değerler DC bara gerilimine, yük akımına, gate direncine, MOSFET sıcaklığına, parazitik endüktanslara, gövde diyodu ters toparlanmasına ve anahtarlama hızına bağlıdır. Bununla birlikte frekans ile yaklaşık doğrusal artış, ilk teorik karşılaştırma için kullanılabilir. Sert anahtarlama topolojilerde anahtarlama kayıplarının anahtarlama frekansıyla arttığı ve yüksek frekansın verim ile güç yoğunluğu arasında bir uzlaşma oluşturduğu üretici teknik dokümanlarında da açıklanmaktadır.

MOSFET gate kapısının her anahtarlama çevriminde şarj ve deşarj edilmesi de güç tüketir. Gate sürme kaybı yaklaşık olarak:

$$P_{gate} = Q_g V_{GS} f_{SW}$$

ile hesaplanabilir. Burada Q_g toplam gate yükü, V_{GS} gate sürme gerilimi ve f_{SW} anahtarlama frekansdır. Diğer parametreler sabit olduğunda 20 kHz'den 40 kHz'e geçiş gate sürme kaybını da yaklaşık iki katına çıkarır.

Artan anahtarlama kayıpları güç yarı iletkenlerinin ve gate driver devresinin sıcaklığını yükseltebilir. MOSFET bağlantı sıcaklığının yükselmesi iletim direncini artırabileceği için toplam sistem kaybı yalnızca anahtarlama kaybındaki doğrusal artıştan daha fazla olabilir [5]. Bu nedenle 40 kHz seçimi yapılırken MOSFET'in yalnızca çalışma gerilimi ve akım kapasitesi değil, anahtarlama enerjisi, gate yükü, termal direnci ve soğutma koşulları da dikkate alınmalıdır.

Yüksek frekans ayrıca PCB üzerindeki parazitik endüktans ve kapasitelerin etkisini artırmaktadır. Daha hızlı ve daha sık gerçekleşen geçişler, drain-source geriliminde aşma, gate üzerinde salınım, istenmeyen açılma ve elektromanyetik girişim risklerini yükseltebilir [6]. Infineon'un hızlı MOSFET anahtarlama dokümanında yüksek frekanslı uygulamalarda PCB yerleşimi, gate çevrimi empedansı, ortak kaynak endüktansı ve gerilim aşmalarının kritik olduğu belirtilmektedir [6].

2.8. 20 kHz ve 40 kHz Anahtarlamanın Karşılaştırılması

İncelenen sistem için teorik karşılaştırma Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 20 kHz ve 40 kHz Anahtarlamanın Teorik Karşılaştırması

Parametre	20 kHz	40 kHz
PWM periyodu	50 μ s	25 μ s
50 Hz periyodundaki taşıyıcı sayısı	400	800
Frekans modülasyon oranı	400	800
Taşıyıcı frekansı / filtre rezonansı	10,16	20,32
İdeal filtre zayıflatması	-40,3 dB	-52,3 dB
Görelî endüktör akım ripple’ı	1	~0,5
64 MHz’de teorik PWM sayımı	3200	1600
Teorik görev oranı adım büyüklüğü	%0,031	%0,063
Görelî anahtarlama kaybı	1	~2
Görelî gate sürme kaybı	1	~2
Ölü zaman / PWM periyodu oranı (1 μ s)	%2	%4
Yüksek frekanslı harmoniklerin filtrelenmesi	Daha düşük	Daha yüksek

3. SONUÇ

Bu çalışmada, 400 V DC ara bara geriliminden 220 V RMS ve 50 Hz AC gerilim üreten tek fazlı tam köprü bir SPWM inverterde 20 kHz ve 40 kHz anahtarlama frekanslarının etkileri; harmonik spektrum, LC çıkış filtresi, endüktör akım dalgalanması, PWM çözünürlüğü, ölü zaman ve anahtarlama/gate sürme kayıpları açısından teorik olarak karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de özetlenen sonuçlar, anahtarlama frekansının iki katına çıkarılmasının belirgin bir tasarım ödünleşmesi (trade-off) oluşturduğunu göstermektedir.

40 kHz’e geçiş, LC filtrenin taşıyıcı frekans çevresindeki bileşenleri daha güçlü zayıflatmasını ve filtre endüktöründeki yüksek frekanslı akım dalgalanmasının belirgin biçimde azalmasını sağlamaktadır. Bu iyileşme yalnızca anahtarlama kaynaklı yüksek frekanslı ripple için geçerlidir; ölü zaman, sayısal kuantalama, DC bara dalgalanması ve doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanan düşük dereceli harmonikler aynı oranda azalmamaktadır.

Buna karşılık anahtarlama frekansının artırılması, anahtarlama ve gate sürme kayıplarının yaklaşık iki katına yaklaşmasına, sabit ölü zamanın PWM periyoduna oranının büyümesine ve sabit zaman tabanlı varsayımında sayısal PWM çözünürlüğünün azalmasına yol açmaktadır. Bu etkiler yarı iletken sıcaklıklarının yükselmesine ve mikrodeneleyici üzerindeki işlem yükünün artmasına neden olabilir.

Dolayısıyla incelenen sistem için uygun anahtarlama frekansı, yalnızca en düşük THD değerini veya en küçük filtre boyutunu sağlayan frekans olarak değerlendirilmemelidir; harmonik performans, verim, termal tasarım, PWM çözünürlüğü, ölü zaman ve dijital kontrol kapasitesinin birlikte gözetildiği çok ölçütlü bir tasarım problemi olarak ele alınmalıdır. 20 kHz

daha düşük kayıp ve daha geniş işlemci süresi sunarken, 40 kHz yüksek frekanslı filtreleme ve ripple azaltımı bakımından avantaj sağlamaktadır; nihai seçim sistemin güç kalitesi hedefleri ile izin verilen kayıp ve sıcaklık sınırlarına göre yapılmalıdır.

4. KAYNAKÇA

- [1] Mandip Pokharel, Nicolai Hildebrandt, Carl Ngai Man Ho (Corresponding author) and Yuanbin He, “A Fast-Dynamic Unipolar Switching Control Scheme for Single Phase Inverters in DC Microgrids”
- [2] Dipankar Chatterjee, Chandan Chakraborty and Suvarun Dalapati, “An Overview on Dead-Time Distortion and Its Correction in PWM Inverters”
- [3] U.S. Department of Energy, “Solar Integration: Inverters and Grid Services Basics.” <https://www.energy.gov/cmei/systems/solar-integration-inverters-and-grid-services-basics>
- [4] Microchip Technology, “Analog Waveform Generation from PWM Signal.” <https://onlinedocs.microchip.com/oxy/GUID-15F56EF1-EBFF-405A-9412-E41CC95BAACF-en-US-2/GUID-34AC5DDB-B9AE-4272-842B-E2A1CEE69B6B.html>
- [5] Infineon Technologies, “MOSFET Selection for Low Voltage UPS,” Application Note, 2019
- [6] Infineon Technologies, “MOSFET Fast Switching: Motivation, Implementation and Precautions,” Application Note, 2023.
- [7] N. Jiao “Harmonic Quantitative Analysis for Dead-Time Effects in SPWM Inverters,” IEEE Access, 2019 [10.1109/ACCESS.2019.2907176](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907176)
- [8] S. Thakur, M. Odavic, A. Allu, et al., “Theoretical harmonic spectra of PWM waveforms including dc bus voltage ripple—Application to low-capacitance modular multilevel converter,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, no. 9, pp. 9291–9305, 2020.
- [9] İlhami Çolak, Ersan Kabalcı, “Developing a novel sinusoidal pulse width modulation (SPWM) technique to eliminate side band harmonics,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 44, no. 1, pp. 861–871, 2013. DOI: [10.1016/j.ijepes.2012.08.024](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.024).
- [10] Farzamkia, Khoshkbar-Sadigh, Forestieri, Farasat, Dargahi (2020) “Analytical Approach to Calculate Inductor Current Ripple Cancellation in Two-Phase Interleaved Single-phase Inverter”, 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) [10.1109/APEC39645.2020.9124528](https://doi.org/10.1109/APEC39645.2020.9124528)
- [11] D. Grahame Holmes, Thomas A. Lipo, “Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice”, Bölüm 4, s. 174-183, Wiley-IEEE Press
- [12] Gürhan Ertaşgın, David M. Whaley, “Analysis and Optimization of Output Low-Pass Filter for Current-Source Single-Phase Grid-Connected PV Inverters”
- [13] R. L. Gour, M. Borage, A. Singh, S. Tiwari, “Estimation of Parasitic Resistance of Electrolytic Capacitor and Filter Inductor and Prediction of Input Filter Induced Oscillation in a Switch-Mode Magnet Power Supply”, DOI: [10.1155/2016/7609103](https://doi.org/10.1155/2016/7609103)
- [14] A. Skamyin, Y. Shklyarskiy, V. Dobush, I. Dobush, "Experimental Determination of Parameters of Nonlinear Electrical Load."

ENABLING VARIABLE-SPEED CPP OPERATION VIA CHARGE AIR BYPASS: A FUEL SAVINGS ANALYSIS

Cihan ÇİMEN

İstanbul Technical University, Maritime Faculty, Department of Marine Transportation Engineering, Tuzla, İstanbul, Türkiye

ORCID ID: 0009-0006-0131-1291

Toprak OBA

İstanbul Technical University, Maritime Faculty, Department of Marine Transportation Engineering, Tuzla, İstanbul, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-2497-7655

Yasin ARSLANOĞLU

İstanbul Technical University, Maritime Faculty, Department of Basic Sciences, Tuzla, İstanbul, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-9492-2975

ABSTRACT

A cylinder bypass valve retrofit enables a medium-speed engine driving a controllable pitch propeller (CPP) to operate in variable-speed combinator mode. Vendor material quotes SFOC savings of up to 24 g/kWh for such retrofits, and headline total-saving figures of up to 20% circulate; neither separates the two mechanisms at work: a propulsive gain from re-optimised pitch and shaft speed, and a combustion gain from improved charge-air supply at part load. Since the two components are scaled differently according to the load, a total percentage cannot be transferred between operating points. This paper decomposes the saving into power and SFOC retention factors, with the SFOC improvement assumed at two part-load points (181.1 → 177.9 g/kWh at 50% MCR; 223.6 → 209.8 g/kWh at 20%). At 46.9% MCR (1,800 kW, 11 kn, 5,000 hours/year) for a 9,000 DWT general cargo ship, factors $k_P = 0.93$ and $k_{SFOC} = 0.978$ yield a 9.1% saving, 167 t of fuel and 521 t of CO₂ per year, 76% propulsive and 24% combustion. At 20% MCR, where the assumed SFOC improvement is largest, the saving rises to 12.7%, and the propulsive and combustion shares approach parity. Percentage savings and absolute tonnage move in opposite directions with load, so neither alone characterizes the retrofit. A physical-admissibility filter, from the constant ship speed identity that a ΔP power reduction requires a $1/(1-\Delta P)-1$ gain in quasi-propulsive efficiency, rejects the 20% headline: it would require a 14.7% power reduction and thus a 17.3% efficiency gain, which is greater than what repitching alone could provide. Under a 12% cap on that gain the saving is bounded at 12.7% at the operating point and 16.2% at low load. The defensible claim is a load-dependent saving of about 9-13% near half load, up to 16% at very low load, not a flat 20%. The economics are reported parametrically. Therefore, simple payback spans 0.7-6.0 years and is 3.0 years at US\$900/t and US\$450,000 installed.

Keywords: controllable pitch propeller; combinator mode; specific fuel oil consumption; propulsive efficiency

1. INTRODUCTION

The International Maritime Organization has placed the existing fleet under binding efficiency obligations through the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) and the Carbon Intensity Indicator (CII), which took effect in 2023 under the revised MARPOL Annex VI (IMO, 2021a). EEXI sets a design-based threshold that a ship already in service must attain, while CII assigns an annual operational rating against a required carbon intensity that is progressively reduced

relative to a 2019 reference line, with reduction factors currently prescribed through 2026 and subsequent factors pending review (IMO, 2021b). Both operate under a strategy targeting net-zero greenhouse gas emissions from international shipping by or around 2050 (IMO, 2023). Compliance is not straightforward for the fleet as it stands. For instance, engine-level performance and the resulting carbon intensity rating have been assessed jointly, as in the dual-fuel analysis (Ejder et al., 2024). A scenario-based assessment covering five ship types indicates that vessels burning conventional MDO or HFO sit at or below the reference limits and generally require an engine power limitation or a switch to an alternative fuel in order to comply (Bayraktar & Yuksel, 2023). A database study of 426 tankers reports that only 14.8% attain the EEXI criterion, and that the required power and speed reductions fall unevenly across tanker types and size classes, with the smallest vessels facing the largest reductions (Vasilev et al., 2025).

Because these obligations apply by design to ships already in service, the near-term reduction task falls on measures that can be applied to the existing fleet rather than on new designs: design-stage efficiency measures are available only at the early conceptual stages of ship construction, and adopting them on a vessel already in service requires an extensive and costly overhaul (Barreiro et al., 2022).

The dominant operational response has been slow steaming. Reducing service speed lowers propulsion power steeply: for a short-sea general cargo ship, cutting main engine load from 75% to 38%, 27% and 19% of MCR reduced total voyage fuel consumption and greenhouse gas emissions by 31.5%, 40.6% and 50.1% respectively, while the vessel retained an A rating under CII (Zincir, 2023). However, slow steaming is not efficiency-neutral at the machinery level. Specific fuel oil consumption reaches its minimum close to the engine design load: 85% of MCR for the two-stroke engine analysed by Guan et al. (2015) and 75% for the medium-sized general cargo engine reported by Zincir (2023). The penalty becomes pronounced below roughly half load. Below 50% of MCR, the scavenging receiver pressure falls, the cylinder maximum pressure drops sharply and brake specific fuel consumption rises, while the air–fuel ratio decreases and the exhaust receiver temperature increases, imposing greater thermal loading. The trend is not monotonic: once scavenge pressure falls below the manufacturer's threshold, electrically driven auxiliary blowers are engaged to restore the air supply, which recovers part of the penalty at the cost of additional electrical demand (Lion et al., 2020).

The penalty is particularly acute in vessels combining a medium-speed four-stroke engine with a controllable pitch propeller (CPP), an architecture found in chemical and product tankers (Baldi et al., 2015) and in multifunction vessels such as offshore support, anchor handling and towing vessels (Geertsma et al., 2018). Where a shaft generator supplies the ship's electrical power, the plant may be operated at constant engine speed, so that a reduction in ship speed is achieved solely by reducing propeller pitch while shaft speed is held at its rated value. The cost of this arrangement is primarily propulsive rather than thermodynamic: constant propeller speed permits electrical generation at higher efficiency but yields lower propeller efficiency at ship speeds below the design speed, and for a handymax chemical tanker, releasing the engine to variable speed reduced fuel consumption by 1–6% even when the electrical load was transferred to the less efficient diesel generator sets, with the largest single contribution attributed to the recovery of propeller efficiency (Baldi et al., 2015). The same effect appears under combinator control: a curve with low pitch and high engine speed consumed 30% more fuel at 5 kts, 10% more at 10 kts and 2% more at 15 kts than one with high pitch and low engine speed, again attributed mainly to the reduced open water efficiency of the propeller at reduced pitch

(Geertsma et al., 2017b). On the engine side, the effect is secondary but consistent: specific fuel consumption at reduced power and nominal speed is significantly higher than on the propeller curve, and engine wear is increased (Geertsma et al., 2017a).

The alternative is combinator operation, in which shaft speed and pitch are varied together along a curve set by the lever position. A curve chosen for transit, with high pitch and low engine speed, recovers much of the propulsive loss: on a case study patrol vessel it consumed 30% less fuel at 5 kts and 10% less at 10 kts than a manoeuvring curve with low pitch and high engine speed (Geertsma et al., 2017b). A single fixed combinator curve nevertheless remains a compromise, since it cannot account for changes in the ship's loading, fouling and environmental conditions, so plant performance can be poor in certain states (Geertsma et al., 2017a). Adaptive pitch strategies address this, delivering a 5–15% reduction in fuel consumption and CO₂ emissions over the 6–15 kts range relative to the baseline transit mode while preventing thermal overloading of the engine (Geertsma et al., 2018). Such combinator-mode conversions are offered commercially for CPP plants (MAN Energy Solutions, 2023).

Retrofitting combinator operation onto an existing constant-speed plant, however, is obstructed by the turbocharger. At reduced engine speed, the compressor delivers less air, and the engine control system must limit fuel injection to maintain the air excess ratio, which in turn forces a reduction in pitch. Widening the part-load region of the engine operating envelope requires additional hardware such as sequential turbocharging, a waste gate, or variable turbine geometry, and improving manoeuvrability while respecting smoke constraints has been shown to require an engine equipped with a variable geometry turbocharger (Geertsma et al., 2018). Variable geometry turbines raise boost pressure specifically in the low and medium speed and load range, and are applied predominantly to four-stroke engines (Feneley et al., 2017; Lion et al., 2020); on large two-stroke engines the equivalent function is served by turbocharger cut-out, which restores scavenge pressure and cylinder maximum pressure at part load (Guan et al., 2015; Lu et al., 2022).

A cylinder bypass valve (CBV) addresses precisely this obstruction. Lu et al. (2022) show that routing a controlled fraction of the charge air from the compressor outlet directly to the exhaust manifold upstream of the turbine raises the turbine mass flow and hence the turbocharger speed: on a large two-stroke engine, a 20% cylinder bypass ratio restored the compressor pressure ratio and mass flow at all loads to the levels obtained without exhaust gas recirculation, and bypass opening reduced brake specific fuel consumption in most cases, with an optimal bypass ratio existing at each operating point.

That work, however, addresses a different problem. The flow mismatch it compensates originates in the EGR loop of a two-stroke engine equipped with parallel turbochargers, not in a reduction of engine speed. The companion low-load measures for that engine class, turbocharger cut-out and auxiliary blower activation, presuppose multiple turbocharger units and a uniflow-scavenged two-stroke architecture (Guan et al., 2015; Lu et al., 2022), and are unavailable on a single-turbocharged medium-speed four-stroke engine. Whether cylinder bypass can serve the purpose considered here, namely restoring the air supply of such an engine at reduced shaft speed so that a constant-speed CPP plant can be retrofitted to combinator operation, has not been examined.

Two consequences follow, and they are attributable to distinct mechanisms. First, the propeller is permitted to run at lower revolutions and higher pitch, so the brake power required for a given ship speed falls; this is a propulsive effect governed by propeller-hull interaction. Second, charge-air management improves combustion quality at part load, so SFOC falls at a given

power; this is a thermodynamic effect internal to the engine. The two are coupled: a change in shaft speed and pitch moves the engine's operating point, and the air available from the turbocharger bounds the pitch that can be carried. Their separation is therefore an accounting choice rather than a physical partition. Such a decomposition exists for a related conversion: Baldi et al. (2015) attribute most of the 1–6% saving from releasing a constant-speed plant to variable speed to the recovery of propeller efficiency, with the engine contribution changing sign with ship speed, and Gao et al. (2024) optimise propeller speed and pitch jointly through a combinator surface while noting that representing propulsive efficiency by the open-water efficiency alone may overestimate it. No equivalent decomposition exists for a cylinder bypass valve retrofit, and the saving figures reported for such retrofits are single headline values that cannot readily be transferred to a different vessel, verified against measurement, or bounded. This paper makes three contributions. (i) It quantifies the fuel, CO₂ and cost effect of a cylinder bypass valve (CBV) retrofit on a representative 9,000 DWT CPP vessel using an SFOC improvement interpolated to the vessel's actual operating point, rather than a single figure applied uniformly across the load range. (ii) It shows that the decomposition of savings into propulsive and combustion components is load-dependent: propulsion dominates at the operating point, whereas the two components are nearly equal at low load. This distinction is essential for transferring the result to other vessels, but it is obscured by a single headline figure. (iii) It also maps the credible parameter space and introduces a physical admissibility screen: each assumed power reduction is converted into the quasi-propulsive efficiency gain required at constant ship speed, which is then compared with documented ranges. Section 2 describes the vessel, model, and assumptions; Section 3 presents the results; and Section 4 discusses their transferability and limitations.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Reference vessel and operating profile

The analysis uses a representative multipurpose dry cargo vessel with a diesel-mechanical propulsion train and a controllable pitch propeller, the architecture for which the retrofit is intended. Principal particulars and the assumed operating profile are given in Table 1. The values are taken from ranges typical of this ship class and are chosen conservatively; the vessel is representative rather than a specific hull, so no confidential operator data are reproduced.

Table 1. Principal particulars of the reference vessel and its operating profile.

Parameter	Value	Unit
Ship type	Multipurpose dry cargo	—
Deadweight	9,000	t
Main engine	Medium-speed 4-stroke diesel	—
Rated power (MCR)	3,840	kW
Propeller	Controllable pitch	—
Typical slow-steaming speed	11	knots
Annual steaming time, t	5,000	h
Annual distance	55,000	nm
Fuel	VLSFO (CF = 3.114)	—
Fuel price (assumed)	900	USD/t
Auxiliary + boiler fuel (fixed)	350	t/year

2.2 System description

The CBV consists of a controlled duct connecting the charge-air manifold to the exhaust-gas collecting pipe upstream of the turbine, an actuated valve, and a control interface with the existing engine control system. At high load, the valve remains closed, and the engine operates as before. Below a defined load threshold, the valve opens progressively, admitting charge air to the turbine. The added mass flow increases turbine power and turbocharger speed, raising scavenge pressure and restoring the air–fuel ratio. As a result, the engine can accept the higher torque associated with increased propeller pitch at reduced shaft speed, making combinator operation feasible for a plant previously limited to constant-speed operation. The retrofit is external to the cylinder and does not alter the fuel injection equipment, so it can be installed during a routine docking. Figure 1a shows the arrangement schematically; Figure 1b places the combinator operating point on the engine envelope, showing that it lies above the original air–fuel-ratio limit, the smoke-limit formulation of Sapra et al. (2017), and is unlocked only when the bypass is open.

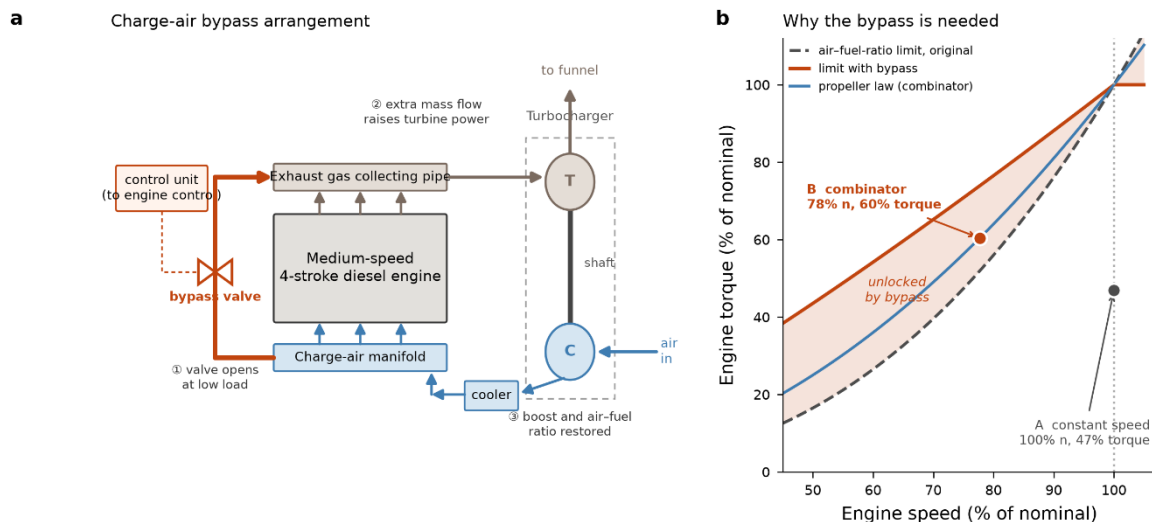


Figure 1. (a) CBV arrangement and (b) engine operating envelope with the bypass.

2.3 Fuel consumption model

Annual main-engine fuel consumption follows from the power, the specific fuel oil consumption and the steaming time:

$$FC = (P \times SFOC \times t) / 10^6 \quad (1)$$

where P is shaft power at the operating point (kW), SFOC is specific fuel oil consumption (g/kWh) and t is annual steaming time (h). Carbon dioxide emissions follow from the carbon conversion factor of the fuel (IMO, 2018, 2021e):

$$\text{CO}_2 = \text{FC} \times \text{CF}, \text{ CF} = 3.114 \text{ for VLSFO} \quad (2)$$

The effect of the retrofit enters through two independent multiplicative factors. The power retention factor $k_P = P_{CBV} / P_{ref}$ captures the propulsive effect, and the SFOC retention factor $k_{SFOC} = SFOC_{CBV} / SFOC_{ref}$ captures the combustion effect. Because fuel consumption is the product of power and SFOC, the two factors combine multiplicatively and not additively:

$$\text{Total saving} = 1 - (k_P \times k_{\text{SFOC}}) \quad (3)$$

The decomposition of the total saving into its two components is obtained by applying the factors sequentially. Applying k_p alone gives the fuel consumption that would result from the propulsive effect in isolation; applying k_{SFOC} to that intermediate value gives the additional contribution of the combustion effect. Because the combination is multiplicative, the order of

application affects the individual shares by a second-order term: at the reference load point, applying power first gives shares of 77.2% and 22.8%, applying SFOC first gives 75.5% and 24.5%. To avoid an arbitrary choice, the shares reported in Section 3.3 are the mean of the two orderings, which is the two-factor Shapley value: 76.3% propulsive and 23.7% combustion at 46.9% MCR. The residual order-dependence spans 1.7 percentage points, i.e. ± 0.85 about the Shapley mean, and is itself reported, since it bounds the precision with which the split can be stated. Because k_{SFOC} is load-dependent while k_P is held constant, the same decomposition is evaluated at a second load point (20% MCR), where the shares become 53.3% and 46.7%.

2.4 Selection of the retention factors

Part-load retrofit kits of this kind are commercially available: Caterpillar Marine markets them for the MaK M 32 E platform, quoting fuel savings of up to 10 g/kWh for the constant-speed kit and up to 24 g/kWh for the variable-speed kit, whose key components are a modified turbocharger, a cylinder bypass valve and a waste gate (Caterpillar Marine, 2014). Headline total-saving figures as high as 20% also circulate for retrofits of this kind; Section 3.4 examines what such a figure would require. Load-resolved SFOC data for the retrofit are not published, so this study treats the improvement as an assumed two-point profile and selects conservative values for both factors, so that the result represents a defensible lower bound.

The power retention factor is set to $k_P = 0.93$, a 7% reduction in shaft power at constant ship speed. Its physical basis is the propeller law. For a fixed-pitch propeller shaft power scales approximately with the cube of shaft speed; for a CPP the relationship depends jointly on shaft speed and pitch angle, so the cubic law cannot be applied directly and the achievable reduction must be treated as an assumption rather than a derived quantity. The literature does not report shaft power reductions directly, but reports fuel savings from which the propulsive share can be identified. Baldi et al. (2015) attribute the largest part of a 1–6% fuel saving from constant-speed to variable-speed operation to the reduction in propeller power. Geertsma et al. (2017b) report fuel differences between combinator curves of 30% at 5 kts, 10% at 10 kts and 2% at 15 kts, attributed mainly to propeller open-water efficiency, the largest values occurring at ship speeds far below the operating point considered here; the same group reports 5–15% over the 6–15 kts range for adaptive pitch control (Geertsma et al., 2018), and Gao et al. (2024) report up to 7.81% between propulsion modes on a CPP vessel. A 7% shaft power reduction therefore sits in the lower half of the reported band and away from the values obtained at very low ship speed. These reported figures are fuel savings and thus already contain a small SFOC component; with $k_{\text{SFOC}} \approx 0.98$ the distinction alters the implied power reduction by only about two per cent of itself, which is negligible at these magnitudes.

The assumption is additionally constrained by the admissibility relation developed in Section 3.4. At constant ship speed brake power varies inversely with quasi-propulsive efficiency, so a 7% power reduction requires a 7.5% gain in quasi-propulsive efficiency, which is admissible against the ranges established in that section. Applying the same test to a 20% headline figure, on the most favourable reading in which the whole 20% is propulsive rather than partly thermodynamic, would require a gain of 25%, which is not. The value of k_P thus lies well inside both the literature-derived band and the range the constant-speed identity admits: the 12% efficiency-gain cap of Section 3.4 corresponds to a maximum admissible power reduction of 10.7%.

The SFOC retention factor is not a single number, because the effect of the bypass on SFOC is strongly load-dependent. The improvement is assumed at two load points: 13.8 g/kWh at 20% power ($223.6 \rightarrow 209.8$ g/kWh, $k_{\text{SFOC}} = 0.9383$) and 3.2 g/kWh at 50% power ($181.1 \rightarrow 177.9$

g/kWh, $k_{\text{SFOC}} = 0.9823$). Both values lie below the vendor's quoted ceiling of 24 g/kWh, and the profile decreases with load in line with the mechanism described in Section 1, the charge-air benefit being largest where the air supply is most constrained. Linear interpolation between these points to the vessel's operating point of 46.9% MCR gives $k_{\text{SFOC}} = 0.9778$, a 2.2% improvement, which applied to the assumed part-load SFOC of 205 g/kWh gives 200.4 g/kWh. The interpolation uses the raw SFOC ratios ($209.8/223.6 = 0.938283$ and $177.9/181.1 = 0.982330$) rather than their rounded forms, so no intermediate rounding is carried into the chain. The linearity assumption carries little weight: the operating point lies 89.7% of the way from the 20% anchor to the 50% anchor, so the interpolated value is dominated by the measured 50% point and is largely insensitive to the shape assumed between them.

Attributing the low-load improvement to an operating point near half load would substantially overstate the combustion benefit: the absolute saving is 15.3 g/kWh at 20% power versus 4.6 g/kWh at 46.9% MCR, a factor of 3.3. Published values for charge-air modulation on large two-stroke engines are smaller: Lu et al. (2022) report BSFC changes of 0.25–0.75 g/kWh for individual control schemes. These values, however, relate to a different engine class and to modulation aimed at turbocharger speed control rather than at part-load air supply, so they bound the plausibility of the mechanism rather than its magnitude in the present case. Because the reference SFOC of 205 g/kWh is an assumed part-load value rather than a point on the assumed improvement profile, the profile is scaled by the ratio between the two at 46.9% MCR before the second load point is evaluated, giving a reference SFOC of 247.1 g/kWh at 20% MCR, so that both load points share one baseline and their absolute savings are directly comparable. The underlying assumption is that the improvement transfers between engines as a ratio rather than as an absolute difference in g/kWh.

2.5 Assumptions and scope

The reference and retrofit cases are compared at the same ship speed, so the required thrust power is identical in both cases and the comparison is like-for-like. Hull and propeller condition, displacement, and weather are assumed identical between the two cases, and fouling and its progression are outside the scope. The operating profile is represented by a single equivalent point (1,800 kW, 46.9% MCR); a full profile-weighted calculation would require a load histogram, which is not available for a representative vessel, so because both the saving and its decomposition depend on load, a second point at 20% MCR is reported throughout to indicate the direction and size of that dependence. Auxiliary engine and boiler fuel is held constant at 350 t/year and is excluded from the saving, since the retrofit acts only on the main engine. In both the reference and the retrofit case, the ship's electrical load is supplied by the auxiliary generators, whose fuel is held constant, and shaft generator operation is not considered; where a shaft generator requires constant shaft frequency, combinator operation is unavailable unless a frequency converter is fitted, which restricts the applicable fleet segment. Maintenance cost changes, valve reliability and exhaust temperature effects are not modelled.

3. RESULTS

3.1 Fuel, emissions and cost

In the reference case the engine operates at 1,800 kW (46.9% MCR) with a part-load SFOC of 205 g/kWh. Applying the two retention factors gives 1,674 kW at 200.4446 g/kWh in the retrofit case. Equations (1)–(3) then give the results in Table 2.

Table 2. Reference and retrofit scenarios compared over one operating year.

Quantity	Reference	After retrofit	Change
Shaft power (kW)	1,800	1,674	−7.0%
SFOC (g/kWh)	205	200.4	−2.2%
Main-engine fuel (t/year)	1,845.0	1,677.7	−167.3 (−9.1%)
Main-engine CO ₂ (t/year)	5,745.3	5,224.4	−520.9
Total fuel incl. auxiliaries (t/year)	2,195.0	2,027.7	−167.3 (−7.6%)
AER (g CO ₂ / t·nm)	13.81	12.76	−7.6%
Main-engine fuel cost (USD/year)	1,660,500	1,509,949	−150,551

The combined saving is 9.1% of main-engine fuel, equivalent to 167.3 t of fuel and 520.9 t of CO₂ per year and to 150,551 USD at the assumed fuel price of 900 USD/t. Expressed against total vessel consumption including the fixed auxiliary and boiler load, the saving is 7.6%. At the second load point of 20% MCR, the percentage saving is larger (12.7%) but the absolute saving is smaller (120.8 t/year), because the engine burns less fuel there in the first place; the two quantities move in opposite directions with load (Figure 3c). Because the regulatory instruments introduced in Section 1 are defined on total vessel emissions, the effect on attained CII follows from the same total figure: with the transport work of the assumed profile (9,000 t × 55,000 nm), the Annual Efficiency Ratio falls from 13.81 to 12.76 g CO₂/(t·nm), an improvement of 7.6%. Against the 2026 requirement for this ship class, this is a movement within band B rather than across a boundary: the post-retrofit value sits about 0.9% above the A/B threshold of 12.64 g CO₂/(t·nm) (IMO, 2021b, 2021f, 2021g), so the retrofit improves the attained rating without on its own delivering a grade change. The corresponding EEXI effect is smaller still, because EEXI is evaluated at 75% MCR, where the bypass is closed (IMO, 2021c). How many years of compliance this buys under the tightening reduction factors is a fleet-planning question and is outside the scope of this paper.

3.2 Economic sensitivity

The annual saving of 167.3 t translates into 150,551 USD/year at a VLSFO price of 900 USD/t. Because the retrofit capital cost is commercially sensitive and varies with engine size and yard, the economics are presented parametrically rather than for a single quoted price. Figure 2a gives the simple payback period across a capital cost range of 100,000 to 900,000 USD at three fuel prices. A three-year payback, a common owner threshold for a voluntary retrofit, is reached at 301,000 USD at 600 USD/t, 452,000 USD at 900 USD/t and 602,000 USD at 1,200 USD/t. At the reference capital cost of 450,000 USD installed and 900 USD/t, simple payback is 3.0 years; across the capital cost range considered it spans 0.7 to 6.0 years at the reference fuel price, the short end corresponding to a low installed cost and the long end to a high one. Payback is therefore as sensitive to the fuel price assumption as it is to the installation cost, which is why single-point payback figures quoted in vendor material should be treated with caution.

Figure 2b shows the discounted cumulative net value over ten years at 900 USD/t and an 8% discount rate. At the reference capital cost of 450,000 USD, the investment turns positive in year four and returns approximately 560,000 USD over ten years; at 500,000 USD, it turns positive in year five and returns 510,000 USD. The break-even year moves from year four to

year six across the capital cost range considered, which is short relative to the remaining service life of a vessel of this class.

Table 3 presents a scenario sweep over the total reduction rate on a single consistent basis: the reference main-engine consumption of 1,845 t/year, a fuel price of 900 USD/t, and installed costs of 450,000 and 500,000 USD, the band quoted for cylinder bypass valve retrofits on engines of this size. The four scenarios span the conservative lower bound, the base case of this study, a mid-range value and the admissibility ceiling of Section 3.4. Payback stays under four years at 450,000 USD and under five years at 500,000 USD in every scenario, including the most conservative 7% case, so the investment case does not rest on achieving the base-case savings.

Table 3. Sensitivity of the annual saving and simple payback to the assumed total reduction rate.

Total reduction	Fuel saved (t/year)	Cost saving (USD/year)	Payback at 450,000 USD (years)	Payback at 500,000 USD (years)
7%	129.2	116,235	3.87	4.30
9.1%	167.3	150,551	2.99	3.32
12.7%	234.3	210,884	2.13	2.37
16.2%	298.9	269,001	1.67	1.86

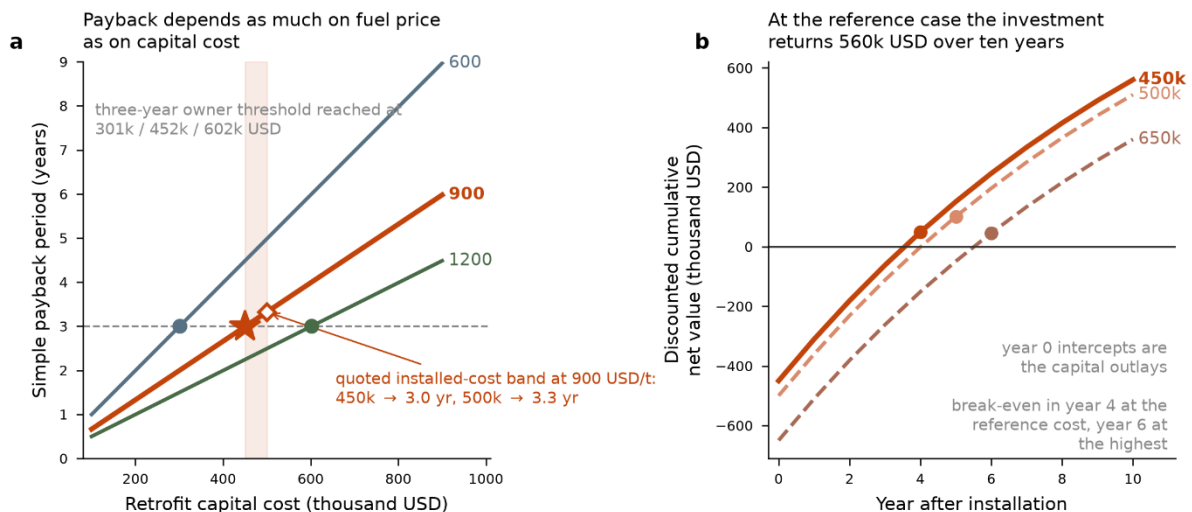


Figure 2. (a) Simple payback against retrofit capital cost and (b) ten-year discounted net value.

3.3 Decomposition of the saving

Figure 3a shows how the two shares vary with engine load, and this is the paper's central result. At the vessel's operating point of 46.9% MCR, the order-independent (Shapley) allocation attributes 128 t/year to the propulsive effect and 39 t/year to the combustion effect, that is 76.3% and 23.7% of the 167.3 t/year total. The two sequential orderings bracket these at 77.2/22.8 and 75.5/24.5, so the split is determined to within 1.7 percentage points. At 20% MCR, by contrast, the two mechanisms contribute 64 and 56 t/year (53.3% and 46.7%) and are of comparable magnitude (Figure 3b). The shares are equal only near the lower end of the load range

considered; above roughly 25% MCR, propulsion dominates, and the dominance grows with load. Because k_P is held constant across load conditions, while the propulsive gains reported in the literature increase as ship speed decreases, the near-parity observed at 20% MCR is conditional on that assumption. If k_P were allowed to decrease at low load, the estimated propulsive share would increase.

This load dependence has a practical consequence that a single headline split would obscure. For a vessel operating near half load, an assessment limited to the engine map captures less than a quarter of the available benefit, making the propeller-side gain the critical component to secure. At very low load, however, the two contributions become comparable, and neither can be neglected. This also clarifies where measurement effort should be focused during validation: both shaft power and fuel rate must be instrumented, because the split cannot be inferred from either measurement alone. The campaign must also record the load point, since any decomposition reported without it is not interpretable.

3.4 Sensitivity and the credible parameter space

Both retention factors are assumptions, so we map total savings across their plausible ranges. Contours of constant saving are hyperbolic, following equation (3). Taking k_P between 0.90 and 0.96 and k_{SFOC} over a band of 0.978 ± 0.012 around the interpolated operating-point value, the total saving spans 5.0% to 13.1%: the most conservative corner ($k_P = 0.96$, $k_{SFOC} = 0.990$) gives 5.0% and the most optimistic ($k_P = 0.90$, $k_{SFOC} = 0.966$) gives 13.1%. The base case of 9.1% sits near the middle of this band. The ± 0.012 width represents the uncertainty of the interpolation itself, not the full interval between the two assumed anchor points (0.938 to 0.982), whose endpoints belong to different loads and are therefore not alternative values for the same operating point. Varying either factor alone by one percentage point moves the total saving by roughly one point, so the result is comparably sensitive to both.

A headline figure of 20% is sometimes attached to retrofits of this kind. No such figure appears in the vendor material examined here, which states the saving in SFOC terms, up to 24 g/kWh (Caterpillar Marine, 2014), corresponding to 11.7% at the vessel's operating point and 10.7% at the 20% load point. A 20% total saving is nevertheless reproducible from the vendor ceiling, but only by stacking assumptions: applying the low-load SFOC ceiling at the operating point and combining it with a 10% power reduction gives $1 - 0.90 \times 0.8927 = 19.7\%$. Each step of that construction fails the tests applied in this paper: the SFOC term because the improvement at half load is a third of its low-load value, and the power term because of the admissibility relation developed below.

A physical admissibility check on k_P follows from propulsive efficiency. Since the comparison is made at constant ship speed, thrust power P_T is unchanged between the two cases, so any reduction in brake power P_B must be accounted for entirely by an increase in quasi-propulsive efficiency $\eta_D = P_T / P_B$. The implied gain is therefore $1/(1 - \Delta P) - 1$. Figure 3d evaluates this relation. The 7% power reduction assumed here implies a 7.5% gain in η_D , which lies within the span of fuel-side gains reported for pitch optimisation at part load (Geertsma et al., 2018); η_D is used here in the broad sense of thrust power over brake power, thus including shaft and gearbox losses. By contrast, a 20% power reduction would imply a 25% gain in η_D at unchanged hull and propeller geometry. Efficiency gains of that magnitude are not documented for pitch scheduling alone and would require an additional explanation, such as a change in operating point or a concurrent hull or propeller intervention. The same screen applies in reverse. Achieving a 20% total saving with the assumed low-load SFOC factor ($k_{SFOC} = 0.938$) requires $k_P = 0.853$, that is a power reduction of 14.7% and an implied η_D gain of 17.3%. The admissible

η_D gain is capped here at 12%, an assumption of this study taken as consistent with the upper end of the fuel-side gains attributed to propeller-efficiency recovery under adaptive pitch control, with the caveat that those figures are fuel savings rather than efficiency gains. This cap bounds the attainable total saving at 16.2% at the 20% load point, where the low-load SFOC factor applies, and at 12.7% at the vessel's operating point, where the interpolated factor applies. The defensible statement is therefore a load-dependent saving of about 9–13% near half load, rising toward an admissibility ceiling of 16% only at very low load; a flat figure of 20% is not attainable under the constant-speed identity at any load point considered. It should be stated clearly what this test is and is not. The relation between power reduction and implied efficiency gain is an algebraic identity at constant thrust power, not an independent measurement; it adds no information about k_P itself. What it does is translate an assumed power reduction into a quantity for which an empirical range exists in the literature, so that the assumption can be checked against evidence rather than accepted on assertion. Its value is as a screening criterion, not as a validation.

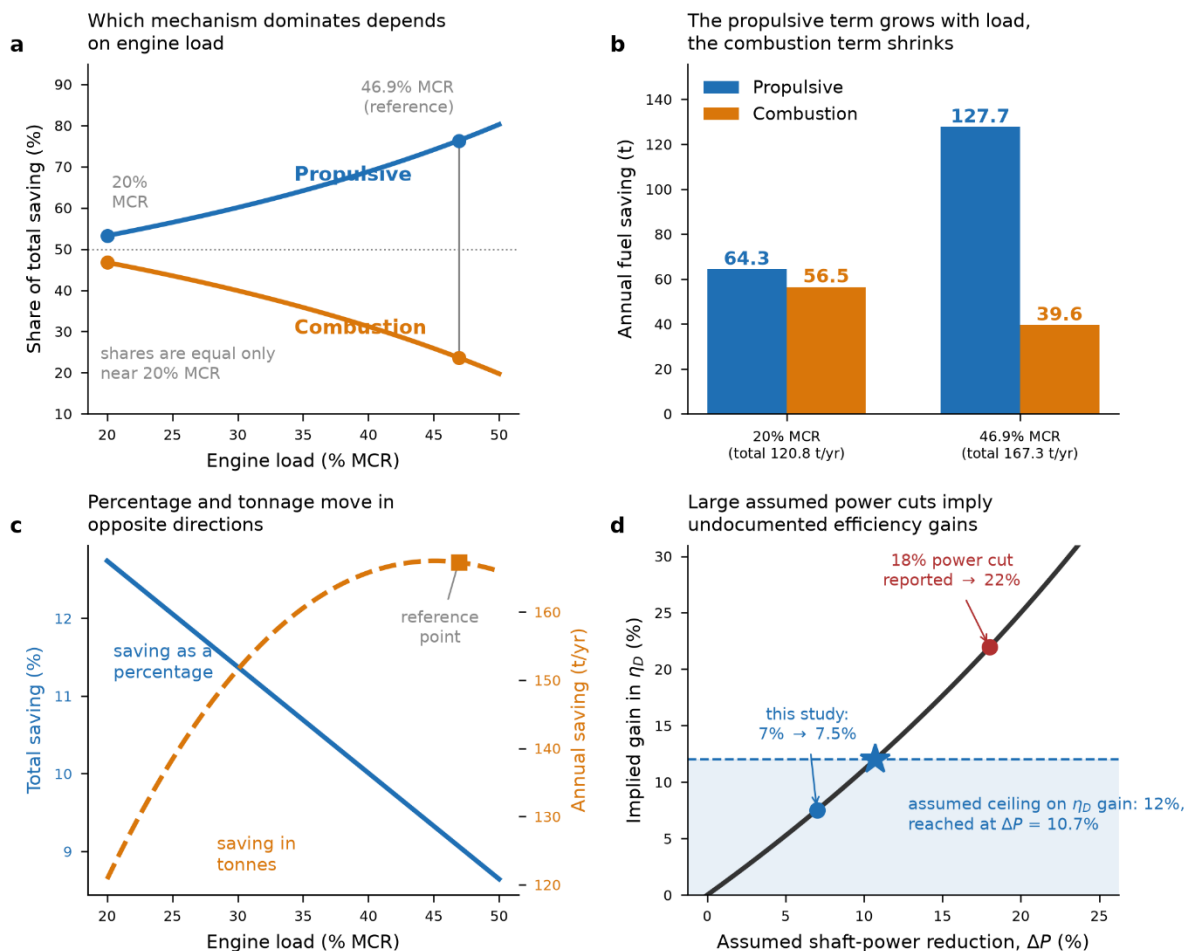


Figure 3. Decomposition of the total saving: (a) share by mechanism against engine load, (b) absolute annual contributions, (c) total saving as percentage and tonnage, (d) implied quasi-propulsive efficiency gain.

4. DISCUSSION

4.1 Transferability

The decomposition influences how the result transfers to another vessel, and since this decomposition depends on load, so does the transferability. The combustion contribution varies based on the engine and turbocharging setup and is mostly independent of the hull; it should transfer to any single-turbocharged medium-speed engine operating in the same relative load range, but only at the same load level. This is because the assumed improvement profile gives a 6.2% improvement near 20% MCR and 1.8% near 50% MCR. The propulsive contribution, influenced by the propeller, hull, and previous control strategy, only transfers to vessels that operated in a constant-speed mode with a suboptimal pitch schedule. Vessels with a well-tuned combinator curve have minimal additional propulsive gains. Setting k_P to one in Equation (3), while keeping the interpolated k_{SFOC} , results in a 2.2% gain instead of 9.1% at the operating point. This difference is a mathematical outcome of the model in that boundary case, not an independently verified figure for such vessels. Since propulsion accounts for about 75% of the benefit at the operating point, this boundary case is more significant than a near-equal split at low load would suggest.

4.2 Comparison with headline vendor figures

The 9.1% obtained here is well below headline figures of up to 20% sometimes attached to this technology. The vendor material itself states the saving in SFOC terms, up to 24 g/kWh (Caterpillar Marine, 2014), which at the vessel's operating point corresponds to an 11.7% SFOC-side ceiling, not a total-saving expectation. Most of the remaining gap is the load dependence of the SFOC term: the assumed 6.2% low-load improvement falls to 2.2% at the vessel's actual operating point, and attributing the low-load figure to half load would have inflated the result to 12.7%. A smaller part of the gap reflects the multiplicative rather than additive combination of the two effects: adding 7% and 2.2% would give 9.2%, whereas the correct combination gives 9.07%. The difference is small at these magnitudes but grows with the size of the individual effects, and additive combination of component savings would overstate any larger retrofit in the same way.

4.3 Position among alternative measures

The retrofit should be placed alongside the other options available to the same vessel. Engine power limitation reduces attained EEXI by capping installed capability rather than by improving efficiency (IMO, 2021d), and therefore delivers no fuel benefit at an operating point below the limit. For a fleet of 153 bulk carriers, compliance required an average power reduction of about 50% of MCR and a speed reduction of 15% (Kalajdžić et al., 2022). The bypass, by contrast, improves consumption at the point actually used. Shaft generator and hybrid arrangements address the part-load problem through electrical rather than thermodynamic means, but on a comparable CPP vessel their voyage-level effect is the smaller one: generating electrical power through the shaft generator rather than the auxiliary engines lowers fuel consumption, whereas electric propulsion in PTI mode raises it because of the lower efficiency of the auxiliary engines, and the electric generation modes are reported to have a relatively minor influence compared with the propulsion control mode itself (Sui et al., 2020). They also carry higher capital cost and greater integration risk than a valve retrofit. Wind-assisted propulsion acts on the resistance side and is therefore complementary rather than competing: gains of 4–6% in fuel consumption at design speed, and up to 15% at 10–12 kts, have been reported for Flettner rotors combined with a CPP, conditional on the optimum pitch setting being recomputed for each operational scenario rather than held at its no-rotor value.

(Vigna and Figari, 2023). Data-driven monitoring of engine performance along the route offers a path to operational improvement without capital expenditure and is a reasonable first step before considering any retrofit (Karatuğ et al., 2023).

A limitation of the present treatment is that it is a steady-state energy balance rather than a thermodynamic simulation. Mean-value and zero-dimensional engine models resolve the turbocharger operation and the air–fuel ratio explicitly (Baldi et al., 2015; Guan et al., 2015) and have been applied to closely related problems including dual-fuel operation and engine settings optimisation (Stoumpos et al., 2018). Such a model would predict k_{SFOC} from first principles rather than interpolating it from an assumed two-point profile, and is the natural next step for this work; the present analysis instead establishes what the assumed values imply and whether they are physically admissible.

4.4 Limitations

Three limitations bound the interpretation of these results. First, the power retention factor is assumed, and the SFOC retention factor is interpolated from an assumed two-point profile anchored to a vendor-quoted ceiling, rather than measured. The study establishes what follows from a stated assumption set and how sensitive the outcome is to it, but sea-trial data (shaft torque, shaft speed, pitch angle, fuel rate and turbocharger speed, recorded before and after the retrofit at matched displacement and weather) would be required to close this gap. Second, the operating profile is collapsed to a single equivalent point; a load histogram would allow profile-weighted integration and would likely alter the result, since both the saving and its decomposition vary with load, as Figure 3 shows. Third, the analysis addresses the main engine only. Auxiliary load, hull fouling and weather routing act on the same fuel bill and may be of comparable magnitude; the figures reported here should not be read as a total-ship efficiency assessment. Two further limitations follow from the model's structure. The decomposition attributes a product to two factors and is therefore order-dependent; the shares are reported as the mean of the two orderings and are determined only to within 1.7 percentage points at the reference load point. The admissibility screen in Section 3.4 is an algebraic consequence of the constant-thrust assumption and does not constitute an independent measurement of the power reduction; it establishes only whether an assumed reduction lies within the efficiency-gain cap adopted in Section 3.4.

A further consideration concerns applicability. Vessels whose electrical supply depends on a shaft generator at fixed frequency cannot adopt variable-speed combinator operation without additional equipment. Quantifying the share of the CPP fleet subject to this restriction would sharpen the fleet-level relevance of the measure and is left to future work.

5. CONCLUSIONS

For a representative 9,000 DWT CPP vessel, a cylinder bypass valve retrofit enabling variable-speed combinator operation yields a main-engine fuel saving of 9.1% at the vessel's operating point of 46.9% MCR, equal to 167.3 t of fuel, 520.9 t of CO₂ and about 150,551 USD per year. The split between the two underlying mechanisms depends on engine load: at the operating point the saving is propulsion-dominated (76.3% against 23.7%, determined to within 1.7 percentage points), whereas at 20% MCR the two mechanisms contribute almost equally (53.3% and 46.7%). A decomposition reported without its load point is therefore not interpretable, and the load point likewise governs how the result transfers to other vessels.

Across the plausible assumption space, the saving ranges from 5.0% to 13.1%. A headline figure of 20% is reproducible only by applying the vendor's low-load SFOC ceiling at the operating point and stacking it with an aggressive power reduction; the defensible, load-

dependent range is about 9–13% near half load and up to 16% at very low load. A simple screening criterion supports this reading: at constant ship speed, a 20% shaft power reduction would imply a 25% gain in quasi-propulsive efficiency, far beyond the 12% cap adopted here for pitch optimisation, whereas the 7% assumed here implies only 7.5%.

These results are a reproducible calculation from stated conservative assumptions, not a measurement, and validation against instrumented sea trials is the necessary next step. The saving improves the attained Annual Efficiency Ratio by 7.6%, which moves the vessel within band B rather than across a boundary under the 2026 requirement; how many years of compliance this buys under the tightening reduction factors is a fleet-planning question and is not addressed here.

REFERENCES

- Baldi, F., Theotokatos, G., & Andersson, K. (2015). Development of a combined mean value-zero dimensional model and application for a large marine four-stroke diesel engine simulation. *Applied Energy*, 154, 402–415. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.024>
- Barreiro, J., Zaragoza, S., & Diaz-Casas, V. (2022). Review of ship energy efficiency. *Ocean Engineering*, 257, 111594. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111594>
- Bayraktar, M., & Yuksel, O. (2023). A scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index (EEXI) and carbon intensity indicator (CII) regulations. *Ocean Engineering*, 278, 114295. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114295>
- Caterpillar Marine. (2014). Caterpillar Marine to launch new part load kits for the MaK M 32 E engine platform at SMM 2014. Press release, Caterpillar Inc. https://www.cat.com/en_US/news/engine-press-releases/caterpillar-marinetolaunchnewpartloadkitsforthemakm32eenginepl.html (accessed 26 August 2026).
- Ejder, E., Dinçer, S., & Arslanoglu, Y. (2024). Decarbonization strategies in the maritime industry: An analysis of dual-fuel engine performance and the carbon intensity indicator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200, 114587. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114587>
- Feneley, A. J., Pesiridis, A., & Mahmoudzadeh Andwari, A. (2017). Variable geometry turbocharger technologies for exhaust energy recovery and boosting-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.125>
- Gao, F., Brodtkorb, A. H., Zadeh, M., & Mo, S. M. (2024). Power management and optimization of marine hybrid propulsion systems: A combinator surface methodology. *Ocean Engineering*, 309, 118354. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118354>
- Geertsma, R., Negenborn, R., Visser, K., & Hopman, J. (2017a). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Applied Energy*, 194, 30–54. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.060>
- Geertsma, R., Negenborn, R., Visser, K., Loonstijn, M., & Hopman, J. (2017b). Pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion: Modelling, validation and performance quantification. *Applied Energy*, 206, 1609–1631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.103>
- Geertsma, R., Visser, K., & Negenborn, R. (2018). Adaptive pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion. *Applied Energy*, 228, 2490–2509. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.080>
- Guan, C., Theotokatos, G., & Chen, H. (2015). Analysis of two stroke marine diesel engine operation including turbocharger cut-out by using a zero-dimensional model. *Energies*, 8(6), 5738–5764. <https://doi.org/10.3390/en8065738>

- IMO. (2018). Resolution MEPC.308(73): 2018 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021a). Resolution MEPC.328(76): Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 (2021 Revised MARPOL Annex VI). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021b). Resolution MEPC.338(76): 2021 Guidelines on the Operational Carbon Intensity Reduction Factors Relative to Reference Lines (CII Reduction Factors Guidelines, G3). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021c). Resolution MEPC.333(76): 2021 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021d). Resolution MEPC.335(76): 2021 Guidelines on the Shaft/Engine Power Limitation System to Comply with the EEXI Requirements and Use of a Power Reserve. London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021e). Resolution MEPC.336(76): 2021 Guidelines on Operational Carbon Intensity Indicators and the Calculation Methods (CII Guidelines, G1). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021f). Resolution MEPC.337(76): 2021 Guidelines on the Reference Lines for Use with Operational Carbon Intensity Indicators (CII Reference Lines Guidelines, G2). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2021g). Resolution MEPC.339(76): 2021 Guidelines on the Operational Carbon Intensity Rating of Ships (CII Rating Guidelines, G4). London: International Maritime Organization.
- IMO. (2023). Resolution MEPC.377(80): 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. London: International Maritime Organization.
- Kalajdžić, M., Vasilev, M., & Momčilović, N. (2022). Power reduction considerations for bulk carriers with respect to novel energy efficiency regulations. *Brodogradnja*, 73(2), 79–92. <https://doi.org/10.21278/brod73205>
- Karatuğ, Ç., Tadros, M., Ventura, M., & Guedes Soares, C. (2023). Strategy for ship energy efficiency based on optimization model and data-driven approach. *Ocean Engineering*, 279, 114397. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114397>
- Lion, S., Vlaskos, I., & Taccani, R. (2020). A review of emissions reduction technologies for low and medium speed marine diesel engines and their potential for waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 207, 112553. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112553>
- Lu, D., Theotokatos, G., Zhang, J., Zeng, H., & Cui, K. (2022). Parametric investigation of a large marine two-stroke diesel engine equipped with exhaust gas recirculation and turbocharger cut out systems. *Applied Thermal Engineering*, 200, 117654. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117654>
- MAN Energy Solutions. (2023). EcoOptimizer for CPP systems (Document 3010-0392-03). Copenhagen: MAN Energy Solutions. <https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync-archive/ecooptimizer-for-cpp-systems-eng.pdf> (accessed 26 August 2026).

- Sapra, H., Godjevac, M., Visser, K., Stapersma, D., & Dijkstra, C. (2017). Experimental and simulation-based investigations of marine diesel engine performance against static back pressure. *Applied Energy*, 204, 78–92. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.111>
- Stoumpos, S., Theotokatos, G., Boulougouris, E., Vassalos, D., Lazakis, I., & Livanos, G. (2018). Marine dual fuel engine modelling and parametric investigation of engine settings effect on performance-emissions trade-offs. *Ocean Engineering*, 157, 376–386. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.03.059>
- Sui, C., de Vos, P., Stapersma, D., Visser, K., & Ding, Y. (2020). Fuel consumption and emissions of ocean-going cargo ship with hybrid propulsion and different fuels over voyage. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(8), 588. <https://doi.org/10.3390/jmse8080588>
- Vasilev, M., Kalajdžić, M., & Momčilović, N. (2025). On energy efficiency of tankers: EEDI, EEXI and CII. *Ocean Engineering*, 317, 120028. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120028>
- Vigna, V., & Figari, M. (2023). Wind-assisted ship propulsion: Matching Flettner rotors with diesel engines and controllable pitch propellers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 1072. <https://doi.org/10.3390/jmse11051072>
- Zincir, B. (2023). Slow steaming application for short-sea shipping to comply with the CII regulation. *Brodogradnja*, 74(2), 21–38. <https://doi.org/10.21278/brod74202>

EKSTRÜZYON VE DÖKÜM HAMMADDELERİNDEN ÜRETİLEN 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DÖVME SONRASI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali DEBRE

MSK Forge Metal A.Ş., 16700 Karacabey, Bursa

ORCID ID: 0009-0009-9407-6121

Doç. Dr. Yakup YÜREKTÜRK

Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 16310 Yıldırım, Bursa

ORCID ID: 0000-0001-8199-4032

ÖZET

Bu çalışmada, döküm ve ekstrüzyon yöntemiyle üretilen EN AW-6082 alüminyum alaşımı hammaddelerin sıcak dövme sonrası mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Her iki hammadde, aynı dövme kalıbı ve proses parametreleri kullanılarak 1600 ton kapasiteli friksiyon preste, 500 °C parça sıcaklığında dövülmüştür. Dövme sonrası numunelere 540 °C'de 2 saat çözeltiye alma, su verme ve 180 °C'de 10 saat yapay yaşlandırmadan oluşan T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla Brinell sertlik ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, döküm hammaddeden elde edilen dövme numunelerin ortalama 113 HB sertlik, 308 MPa akma dayanımı, 350 MPa çekme dayanımı ve %9,3 kopma uzaması değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Ekstrüzyon hammaddeden üretilen numunelerde ise bu değerler sırasıyla 105 HB, 248 MPa, 316 MPa ve %11,0 olarak belirlenmiştir. Buna göre döküm hammaddesi, dövme ve T6 ısıl işlemi sonrasında daha yüksek sertlik, akma ve çekme dayanımı sağlarken ekstrüzyon hammaddesi daha yüksek süneklik göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, hammadde üretim yönteminin sıcak dövme ve T6 ısıl işlemi sonrasında EN AW-6082 alaşımının mekanik performansı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: EN AW-6082, sıcak dövme, döküm hammadde, ekstrüzyon hammadde, T6 ısıl işlem, mekanik özellikler

INVESTIGATION OF THE POST-FORGING MECHANICAL PROPERTIES OF 6082 ALUMINUM ALLOY PRODUCED FROM EXTRUDED AND CAST FEEDSTOCKS

ABSTRACT

This study investigates the effect of cast and extruded EN AW-6082 aluminum alloy feedstocks on the mechanical properties after hot forging. Both feedstocks were forged using the same die and process parameters in a 1600-ton friction press at a workpiece temperature of 500 °C. Following forging, the specimens were subjected to a T6 heat treatment consisting of solution treatment at 540 °C for 2 h, water quenching, and artificial aging at 180 °C for 10 h. Brinell hardness and tensile tests were performed to determine the mechanical properties. The results showed that the forged specimens produced from the cast feedstock exhibited average values of 113 HB hardness, 308 MPa yield strength, 350 MPa tensile strength, and 9.3% elongation at fracture. For the specimens produced from the extruded feedstock, these values were 105 HB, 248 MPa, 316 MPa, and 11.0%, respectively. Accordingly, the cast feedstock provided higher hardness, yield strength, and tensile strength after forging and T6 heat treatment, whereas the

extruded feedstock exhibited higher ductility. The results demonstrate that the initial feedstock production method has a significant effect on the mechanical performance of EN AW-6082 aluminum alloy even after hot forging and T6 heat treatment.

Keywords: EN AW-6082, hot forging, cast feedstock, extruded feedstock, T6 heat treatment, mechanical properties

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları; düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, korozyon direnci ve iyi şekillendirilebilirlik özelliklerinin birlikte sağlanabilmesi nedeniyle özellikle otomotiv, havacılık ve diğer hafif yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlar içerisinde 6xxx serisi, çökelme sertleşmesi yoluyla mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi ve sıcak şekillendirme proseslerine uygunluğu nedeniyle önemli bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. EN AW-6082 alaşımı ise mekanik özellikleri, korozyon direnci ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin dengeli kombinasyonu nedeniyle yapısal ve otomotiv uygulamalarında kullanılan önemli bir Al-Si-Mg alaşımıdır (Tunc vd. 2021).

Dövme, alüminyum alaşımlarından yüksek performans gerektiren yapısal parçaların üretiminde kullanılan önemli bir plastik şekillendirme yöntemidir. Proses sırasında gerçekleşen malzeme akışı; deformasyon miktarı, deformasyon hızı ve sıcaklık gibi parametrelerin yanı sıra başlangıç malzemesinin mikroyapısal özelliklerinden de etkilenmektedir. Sıcak şekillendirme sırasında deformasyon sertleşmesi ile dinamik toparlanma ve dinamik yeniden kristalleşme gibi mikroyapısal mekanizmalar birlikte gerçekleşebilmekte ve bu süreçler nihai tane yapısı ile mekanik özelliklerin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Özellikle 6xxx serisi alüminyum alaşımlarında sıcak deformasyon koşullarının yeniden kristalleşme davranışı ve mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etkisi olduğu bildirilmektedir (Kareem vd. 2025; Nienaber vd. 2026).

Dövme prosesinde kullanılan başlangıç malzemesinin üretim yöntemi, deformasyon öncesindeki mikroyapı ve tekstür durumunu belirlemesi açısından önem taşımaktadır. Endüstriyel uygulamalarda ekstrüde çubuklar yaygın olarak dövme stok malzemesi şeklinde kullanılmakla birlikte, ekstrüzyon prosesinin üretim zincirinden çıkarılması amacıyla döküm stokların doğrudan dövme hammaddesi olarak kullanılması da araştırılmaktadır. Döküm ve ekstrüzyon stok malzemelerinin karşılaştırıldığı EN AW-6082 çalışmalarında; ekstrüde stokun belirgin bir deformasyon tekstürü ve uzamış tane yapısı sergilediği, döküm stokun ise daha eş eksenli bir başlangıç mikroyapısına sahip olduğu belirtilmektedir (Birol ve Ilgaz 2014; Arbo vd. 2024).

Başlangıç malzemesindeki bu farklılıkların dövme ve sonraki ısıtma işlemlerinde da etkisini sürdürebildiği bildirilmektedir. Döküm stoktan üretilen EN AW-6082 dövme parçalarının, ekstrüde stoktan üretilen parçalara kıyasla daha uniform bir tane yapısı ve daha iyi yüzey kalitesi sergilediğini belirtmiştir (Birol ve Ilgaz 2014). Aynı çalışmada T6 ısıtma işlemi sonrasında döküm stoktan üretilen dövmenin sertliğinin ekstrüde stoktan üretilen dövme göre bir miktar daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Bu durum, dövme stokunun başlangıç mikroyapısının çözeltiye alma ve çökelme süreçleri ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Döküm ve ekstrüde stok malzemelerden üretilen EN AW-6082 dövme parçalarının dövme ve T6 ısıtma işlemi sonrasındaki mikroyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada (Arbo vd. 2024); ekstrüde stoktan üretilen parçalarda yüzeyde oluşan iri tane zonunun döküm stoktan üretilen parçalara göre daha kalın olduğu görülmüştür. Ekstrüde stok, özellikle boyuna yönde daha yüksek akma ve çekme dayanımı gösterirken, döküm stok farklı

yüklemeye yönleri arasında daha düşük mekanik anizotropi sergilemiştir. Bu sonuçlar, başlangıç stok malzemesinin mikroyapısal ve termomekanik geçmişinin dövme sonrası mekanik davranış üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Arbo vd. 2024).

Literatürde döküm ve ekstrüde stokların EN AW-6082 dövme parçalarındaki mikroyapısal farklılıkları incelenmiş olmakla birlikte aynı dövme kalıbı ve aynı proses koşulları altında üretilen dövme parçaların, aynı T6 ısıtım işlemi koşullarından sonra mekanik özelliklerinin doğrudan karşılaştırılmasına yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, döküm ve ekstrüzyon yöntemiyle üretilen EN AW-6082 başlangıç malzemeleri aynı dövme kalıbı ve proses koşulları kullanılarak sıcak dövülmüş ve ardından aynı T6 koşullarında ısıtım işlemi tabi tutulmuştur. Böylece başlangıç malzemesinin üretim yönteminin sıcak dövme ve T6 ısıtım işlemi sonrasında EN AW-6082 alaşımının sertlik, akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, dövme hammadresi olarak ekstrüzyon ve döküm yöntemleriyle üretilmiş EN AW-6082 alüminyum alaşımları kullanılmıştır. EN AW-6082 alüminyum alaşımına ait kimyasal bileşim Tablo 1’de verilmiştir. Hammaddelerin kimyasal bileşimleri EN AW-6082 alaşım standardı ile uyumlu olup çalışmada hammadde üretim yöntemi temel değişken olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. EN AW-6082 alaşımının kimyasal bileşimi (ağ. %)

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
ağ. %	1,02	0,2	0,06	0,53	0,84	0,05	0,03	0,01	Kal.

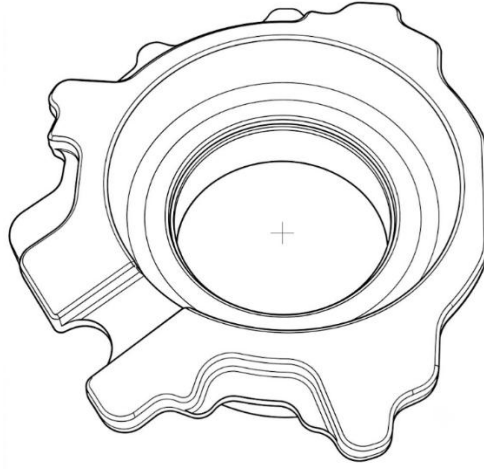
Sıcak dövme işlemleri, 1600 ton kapasiteli vidalı (frikasyon) pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dövme öncesinde ekstrüzyon ve döküm hammaddeleri 500 °C’ye ısıtılmış ve hedef sıcaklığa ulaşıldıktan sonra aynı dövme kalıbı kullanılarak şekillendirilmiştir. Dövme işlemi, ön dövme aşamasında pres kapasitesinin birinci vuruşta %85’i, ikinci vuruşta %90’ı ve üçüncü vuruşta %70’i kullanılarak üç vuruşta gerçekleştirilmiştir. Son dövme (SD) aşamasında ise pres kapasitesinin birinci vuruşta %65’i ve ikinci vuruşta %70’i kullanılarak iki vuruş uygulanmıştır. Böylece her iki malzeme grubuna aynı deformasyon ve şekillendirme koşulları uygulanmıştır. Kullanılan dövme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Sıcak dövme işlem parametreleri

Parametre	Değer
Pres tipi	Vidalı (frikasyon) pres
Pres kapasitesi	1600 ton
Dövme sıcaklığı	500 °C
Pres gücü (ön dövme)	3 vuruş: %85 – %90 – %70
Pres gücü (son dövme)	2 vuruş: %65 – %70

Dövme prosesinde parça geometrisi, kalıp tasarımı, pres kapasitesi, deformasyon koşulları, yağlama koşulları ve işlem sırası tüm numuneler için sabit tutulmuştur. Dövme işleminde

kullanılan muhafaza parçasının şematik görseli Şekil 1’de verilmiştir. Dövme işlemi sonrasında tüm numunelere aynı T6 ısıtım işlemi prosesi uygulanmıştır. Isıtım işlemleri Refsan RT-150 marka fırında gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada numuneler 540 °C’de 2 saat süreyle çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuştur. Çözeltiye alma işleminin ardından numuneler 20–30 °C sıcaklıktaki su içerisinde su verilerek soğutulmuştur. Daha sonra numuneler 180 °C’de 10 saat süreyle yapay yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işleminin tamamlanmasının ardından numuneler fırından çıkarılarak hava ortamında soğutulmuştur. T6 ısıtım işlemine ait proses parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

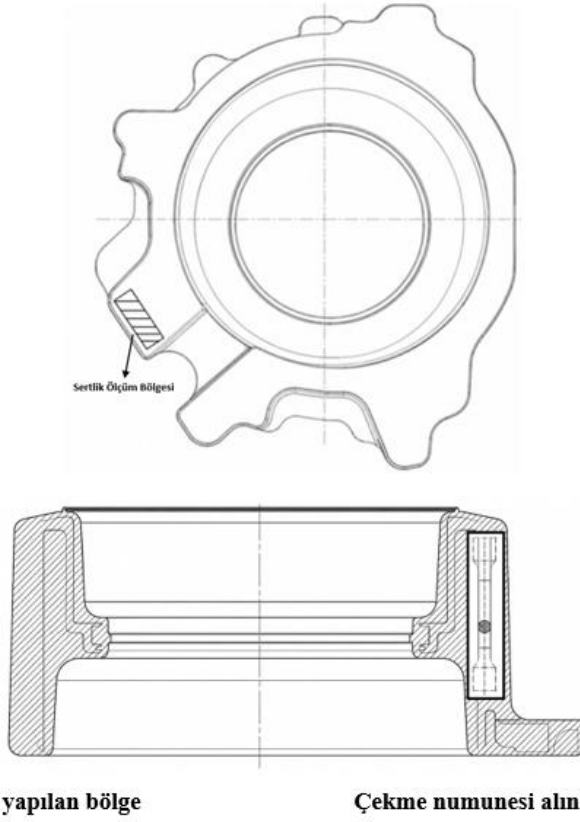


Şekil 1. Üretilen muhafaza parçasının şematik görseli.

Tablo 3. T6 ısıtım işlem parametreleri

İşlem	Parametre
Çözeltiye alma	540°C / 2 saat
Su verme	20-30°C
Yapay yaşlandırma	180°C – 10 saat
Soğutma	Hava

T6 ısıtım işlemi sonrasında ekstrüzyon ve döküm hammaddelerinden üretilen muhafaza parçalarının mekanik özellikleri, Brinell sertlik ve çekme deneyleri ile değerlendirilmiştir. Sertlik ölçümleri ve çekme numunesi alınan bölgeler Şekil 2’de gösterilmiştir.



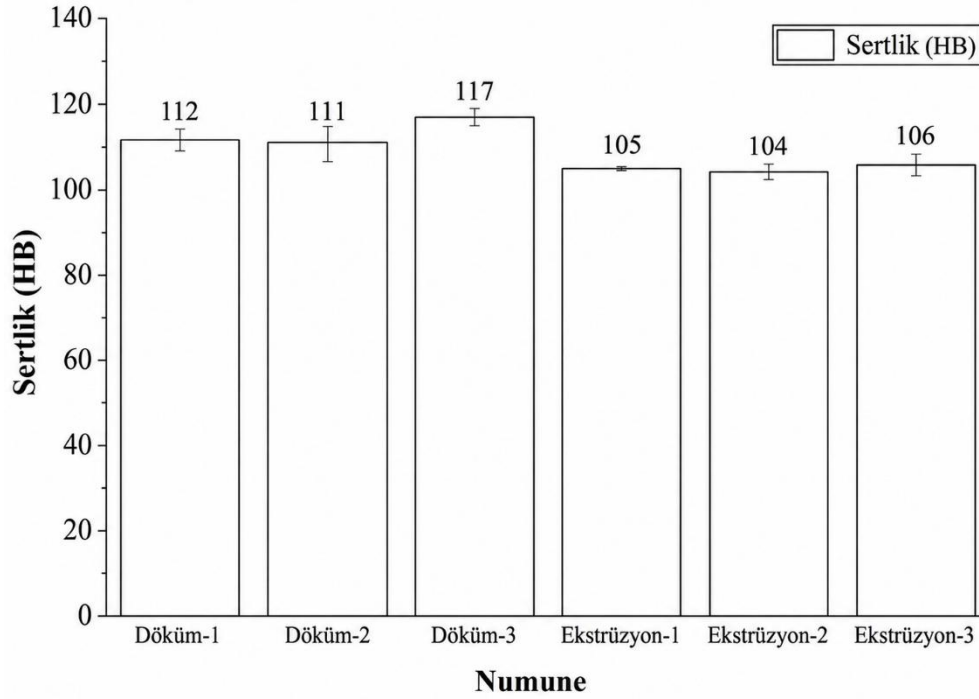
Şekil 2. Muhafaza parçasının mekanik test bölgelerini gösteren teknik çizimi.

Brinell sertlik ölçümleri BMS-3000 Bulut marka sertlik ölçme cihazı kullanılarak 2,5 mm çapında sertleştirilmiş çelik bilya ve 62,5 kgf yük uygulanarak yaklaşık 10 s süreyle gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, muhafaza parçaları üzerinde önceden belirlenen ve Şekil 2’de taralı olarak gösterilen sertlik ölçüm bölgesinden alınmıştır. Her numune için belirlenen ölçüm bölgesinde birden fazla ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin ortalaması Brinell sertlik değeri olarak raporlanmıştır.

Çekme deneyleri için numuneler, Şekil 2’de gösterilen çekme numunesi alınan bölgeden çıkarılmış ve ASTM E8 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Çekme deneyleri Shimadzu AGX-V2 çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri belirlenmiştir.

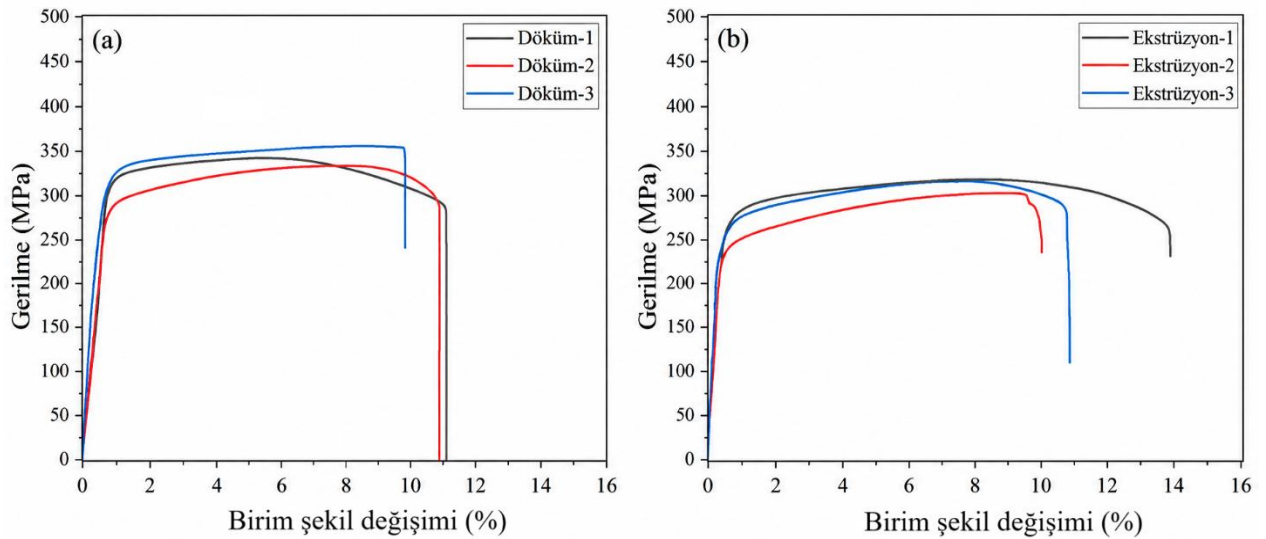
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 3’te T6 ısıt işlemleri sonrasında döküm ve ekstrüzyon hammaddelerinden üretilen numunelerin Brinell sertlik değerleri verilmiştir. Döküm numunelerinde sertlik değerleri 111–117 HB arasında değişirken ortalama sertlik 113 HB olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon numunelerinde ise 104–106 HB arasında değişen sertlik değerleri elde edilmiş ve ortalama sertlik 105 HB olarak hesaplanmıştır. Buna göre döküm hammaddeden üretilen numunelerin ortalama sertliği ekstrüzyon hammaddesine göre yaklaşık %7,6 daha yüksek bulunmuştur. Döküm hammaddeden üretilen EN AW-6082 dövme numunelerin daha yüksek sertlik sergilediği ve bu değerlerin, literatürde döküm stoktan elde edilen dövme parçalar için bildirilen T6 ısıt işlemleri sonrası sertlik değerleriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. (Birol ve Ilgaz 2014).



Şekil 3. Döküm ve ekstrüzyon hammaddelerinden üretilen numunelerin Brinell sertlik değerleri.

Şekil 4’te döküm ve ekstrüzyon hammaddelerinden üretilen numunelere ait gerilme–birim şekil değişimi çekme testi eğrileri, Tablo 4’te ise çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özellikler verilmiştir. Döküm hammaddesinden üretilen numunelerde akma dayanımı 295–322 MPa, çekme dayanımı 341–360 MPa ve kopma uzaması %8,7–9,7 arasında değişmiştir. Ekstrüzyon hammaddesinden üretilen numunelerde ise akma dayanımı 235–255 MPa, çekme dayanımı 307–322 MPa ve kopma uzaması %10,0–12,9 aralığında belirlenmiştir.



Şekil 4. Döküm (a) ve ekstrüzyon (b) hammaddelerinden üretilen numunelerin gerilme–birim şekil değişimi eğrileri.

Döküm hammaddesinden üretilen numunelerin ortalama akma dayanımı 308 MPa, çekme dayanımı 350 MPa ve kopma uzaması %9,3 olarak hesaplanmıştır. Ekstrüzyon hammaddesinde ise bu değerler sırasıyla 248 MPa, 316 MPa ve %11,0 olarak elde edilmiştir. Buna göre döküm hammaddesinden üretilen numunelerin ortalama akma ve çekme dayanımları ekstrüzyon hammaddesine göre sırasıyla yaklaşık %24 ve %11 daha yüksek bulunurken, ekstrüzyon hammaddesi yaklaşık %18 daha yüksek kopma uzaması sergilemiştir.

Tablo 4. Döküm ve ekstrüzyon hammaddelerinden üretilen numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numune	Akma dayanımı, $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Çekme dayanımı, σ_{UTS} (MPa)	Kopma uzaması (%)
Döküm-1	322	348	9.7
Döküm-2	295	341	9.5
Döküm-3	308	360	8.7
Ekstrüzyon-1	255	322	12.9
Ekstrüzyon-2	235	307	10.0
Ekstrüzyon-3	254	319	10.0

Literatürde de dövme EN AW-6082 alaşımında başlangıç stok malzemesinin mikroyapısı ve termo-mekanik geçmişinin nihai mekanik özellikleri etkilediği bildirilmiştir. Döküm ve ekstrüde stokların farklı tane yapıları sergilediği ve bu farklılığın dövme sonrası mikroyapı ile mekanik özelliklere yansıdığı belirtilmiştir (Arbo vd. 2024). Bununla birlikte literatürde mekanik özelliklerin numune yönüne ve deformasyon koşullarına bağlı olarak değişebildiği; ekstrüde stokun boyuna yönde daha yüksek dayanım, döküm stokun ise daha düşük anizotropi sergileyebildiği rapor edilmiştir (Arbo vd. 2024). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ise kullanılan aynı dövme ve T6 koşulları altında döküm hammaddesinin dayanım açısından, ekstrüzyon hammaddesinin ise süneklik açısından avantaj sağladığını ortaya koymaktadır.

Çekme ve sertlik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde döküm başlangıç malzemesinden üretilen numunelerin daha yüksek mekanik dayanım ve sertlik sergilemesinin temel nedeninin, dövme ve T6 ısıtma işlemi sonrasında oluşan daha homojen ve ince taneli mikroyapı ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Özellikle tane yapısı, tane boyutu ve çökelti dağılımı, EN AW-6082 alaşımının mekanik özelliklerini etkileyen temel mikroyapısal unsurlar arasında yer almaktadır (Kumar vd. 2017; Tunc vd. 2021). Nitekim ekstrüzyon stokundan kalan lifsi tane yapısının dövme sonrasında büyük ölçüde korunabildiği, ancak bu yapı içerisinde oluşan ince dinamik yeniden kristalleşmiş tanelerin T6 çözeltiye alma işlemi sırasında anormal tane büyümesine uğrayabildiği bildirilmiştir (Birol vd. 2014). Buna karşılık döküm stoktan üretilen dövme parçalarda daha küçük ve daha homojen bir tane yapısının elde edildiği ve bu yapının T6 işlemi sırasında daha etkin çözeltiye alma ve çökeltme davranışına katkı sağladığı belirtilmiştir (Birol vd. 2014). Dolayısıyla döküm numunelerinde daha yüksek sertlik ve çekme dayanımının; daha homojen tane yapısı, daha düşük iri yüzey tane oluşumu ve Mg–Si esaslı sertleştirici çökeltilerin daha etkin oluşumu ile birlikte Hall–Petch tipi tane incilmesi katkısının sonucu olması muhtemeldir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, döküm ve ekstrüzyon hammaddelerinin aynı sıcak dövme ve T6 ısıtma işlem koşullarına tabi tutulmasına rağmen farklı mekanik özellikler sergilediği belirlenmiştir. Döküm hammaddesi daha yüksek sertlik, akma ve çekme dayanımı sağlarken,

ekstrüzyon hammaddesi daha yüksek kopma uzaması göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, EN AW-6082 alaşımında hammadde üretim yönteminin dövme ve T6 ısıtma işlemi sonrasındaki mekanik performans üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, döküm ve ekstrüzyon yöntemiyle üretilen EN AW-6082 alaşımı hammaddelerin sıcak dövme ve T6 ısıtma işlemi sonrasındaki mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Aynı dövme kalıbı ve proses koşulları kullanılarak gerçekleştirilen sıcak dövme işlemi sonrasında, başlangıç hammaddesinin üretim yönteminin mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etkisi olduğu belirlenmiştir.
2. T6 ısıtma işlemi sonrasında döküm hammaddesinden üretilen numunelerde ortalama 113 HB sertlik, 308 MPa akma dayanımı ve 350 MPa çekme dayanımı elde edilmiştir. Ekstrüzyon hammaddesinden üretilen numunelerde ise bu değerler sırasıyla 105 HB, 248 MPa ve 316 MPa olarak belirlenmiştir.
3. Döküm hammaddesinden üretilen numuneler, ekstrüzyon hammaddesine kıyasla daha yüksek sertlik, akma dayanımı ve çekme dayanımı sergilemiştir. Buna karşılık ekstrüzyon hammaddesinden üretilen numunelerin ortalama %11,0 kopma uzaması, döküm hammaddesinden üretilen numunelerin ise %9,3 kopma uzaması göstermesi, ekstrüzyon hammaddesinin daha yüksek süneklik sağladığını ortaya koymuştur.
4. Sertlik ve çekme sonuçları birlikte değerlendirildiğinde döküm hammaddesinden elde edilen daha yüksek dayanımın; dövme ve T6 ısıtma işlemi sonrasında oluşan tane yapısı ve çökme davranışındaki farklılıklarla ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Bununla birlikte bu ilişkinin kesin olarak ortaya konulabilmesi için mikroyapısal karakterizasyon çalışmalarının sonuçlarla birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.
5. Sonuç olarak EN AW-6082 alaşımında hammadde üretim yönteminin sıcak dövme ve T6 ısıtma işlemi sonrasındaki mekanik performans üzerinde önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, dövme parçaların hedeflenen dayanım ve süneklik gereksinimlerine göre döküm veya ekstrüzyon hammaddesinin tercih edilmesinde dikkate alınması gereken bir faktör olduğunu göstermektedir.

REFERANSLAR

- Tunc O, Kacar I, Ozturk F. (2021). Investigation of forging performance for AA6082. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 117(5–6), 1645–1661.
- Kareem SA, Anaele JU, Aikulola EO, Olanrewaju OF, Omiyale BO, Falana SO, Oke SR, Bodunrin MO. (2025). Hot deformation behavior of aluminum alloys: A comprehensive review on deformation mechanism, processing maps analysis and constitutive model description. Materials Today Communications 44, 112004.
- Nienaber M, Esterl F, Ben Khalifa N, Bohlen J. (2026). From billet to extruded band: Engineering texture and properties in AA6082 through die design and billet condition. Materials & Design 262, 115478.
- Birol Y, Ilgaz O. (2014). Effect of cast and extruded stock on grain structure of EN AW 6082 alloy forgings. Materials Science and Technology 30(7), 860–866.
- Arbo SM, Tjøtta S, Boge MH, Tundal U, Li J, Dumoulin S, Jensrud O. (2024). The Potential of Cast Stock for the Forging of Aluminum Components within the Automotive Industry. Metals 14(1), 90.
- Kumar N, Jayaganthan R, Brokmeier H-G. (2017). Effect of deformation temperature on precipitation, microstructural evolution, mechanical and corrosion behavior of 6082 Al alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 27(3), 475–492.

ANXIETY, COPING MECHANISMS, AND ACADEMIC STRESS IN HEALTH SCIENCES STUDENTS DURING EXAMINATIONS

Nilay ŞAHİN

Lecturer, Çankırı Karatekin University, Department of Medical Services and Techniques,
Eldivan Medical Services Vocational School, Çankırı, TURKEY

ORCID: 0000-0003-4535-4307

Irmak KARADUMAN ER

Assoc. Prof. Dr., Çankırı Karatekin University, Department of Medical Services and
Techniques, Eldivan Medical Services Vocational School, Çankırı, TURKEY

ORCID: 0000-0003-3786-3865

ABSTRACT

Exam periods are considered one of the most significant sources of psychological stress, especially among university students enrolled in health-related programs where both theoretical knowledge and practical competencies are rigorously assessed. Excessive stress can negatively impact students' academic performance, emotional well-being, and professional development. This study aimed to evaluate the cognitive, emotional, physiological, and behavioral responses of students enrolled in health programs to exams and to identify factors associated with these responses. A descriptive cross-sectional study was conducted among students enrolled in the Medical Services and Techniques department at a Health Services Vocational School. Associate degree students voluntarily participated in the study. Students expressed their responses through questionnaires. The results showed that first-year students exhibited higher physiological and cognitive responses compared to second-year students. Students enrolled in health programs experience moderate to high levels of exam-related responses, particularly characterized by emotional and physiological reactions. Academic preparation, adequate sleep, and effective coping strategies appear to reduce exam-related responses.

Keywords: Health program students; Exam anxiety; Academic stress.

1. INTRODUCTION

The higher education environment contains unique sources of stress that significantly impact students' well-being and academic performance [Acheampong et. al. (2024)]. The transition from directed learning in secondary school to the more autonomous and self-directed learning of university creates adjustment difficulties. High academic standards, complex critical thinking requirements, competitive grading, discipline-specific expectations, pressure for future employment, demanding curricula, excessive workloads, and irregular schedules can all increase academic stress [Adom et. al. (2020)]. The nature of stress in health programs varies depending on the program. Health students face studio-based assessments, critical feedback, and creative project work; develop both technical and managerial skills [Dada et. al. (2019).] In quantity surveying, land economics, and real estate management programs, written exams, course assignments, and project reports are more common. Research shows that heavy course loads, exams, concurrent deadlines, and time management difficulties affect students' academic performance and mental well-being [Labrague et. al. (2024).].

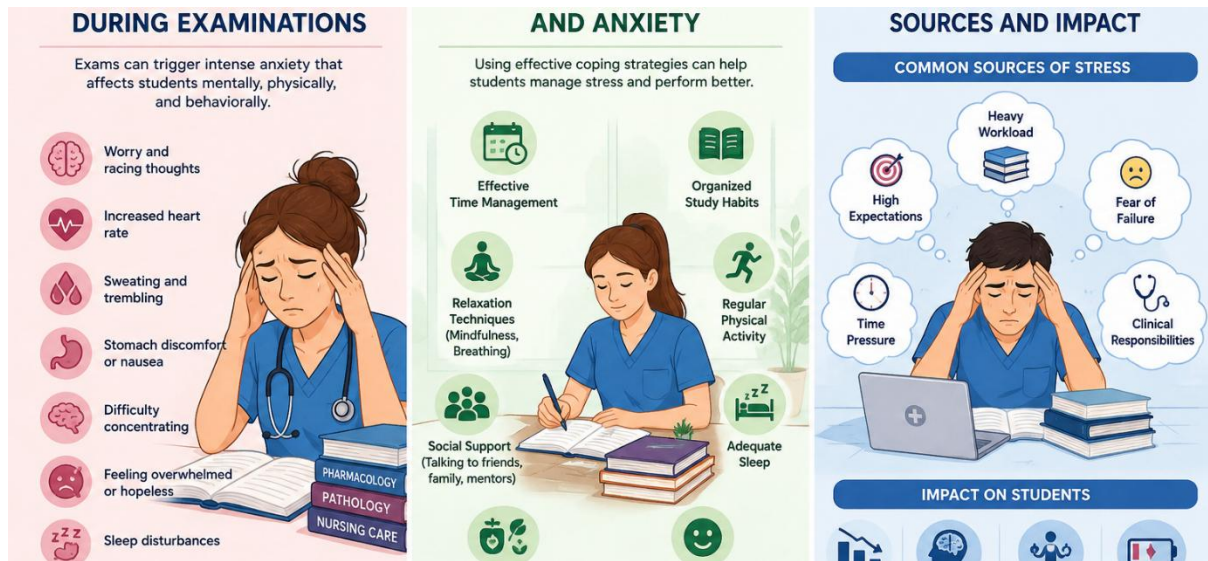


Figure 1. During examinations and anxiety, sources and impact

Figure 1 gives the examinations and anxiety, sources and impact. The reactions of the students in general are shown. This study analyzed aspects such as students' adjustment to school, their adaptation to studying for exams, and their proper use of the internet and libraries. The results were interpreted and applied to the new academic term. For medical and nursing students, exams, large amounts of study material, financial worries, and limited time for rest are major sources of stress. In allied health fields such as physiotherapy and radiography, students must meet clinical competency requirements while performing time-sensitive patient care tasks. Fear of making mistakes in a clinical setting and intimidating behavior from senior staff can increase stress.

2. METHODS

This descriptive cross-sectional study was conducted among 150 students enrolled at Eldivan Vocational School of Health Services. Participation in the study was entirely voluntary, and data were collected anonymously to ensure confidentiality and encourage participants to provide honest and unbiased responses. No personally identifiable information, including students' names, was collected.

Data were obtained using a structured questionnaire designed to assess students' course attendance, use of library and internet resources, independent learning behaviors, and study habits during examination periods. The questionnaire also included items examining the amount of time students devoted to preparing for midterm, final, and make-up final examinations. Following completion of the questionnaires, the collected data were analyzed, and the findings were evaluated and interpreted to identify patterns in students' academic preparation and learning behaviors.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 2 shows the Distribution of students according to (a) course attendance, (b) weekly library/internet use, and (c) study time for the first midterm examination (n = 150). Academic workload and institutional factors have been identified as the most critical dimension of stress. Intensive and interdisciplinary curricula, the combination of theoretical knowledge and

practical work, assessments, and simultaneous submissions can be perceived as demands exceeding students' existing coping resources [Lazarus and Folkman (1984)].

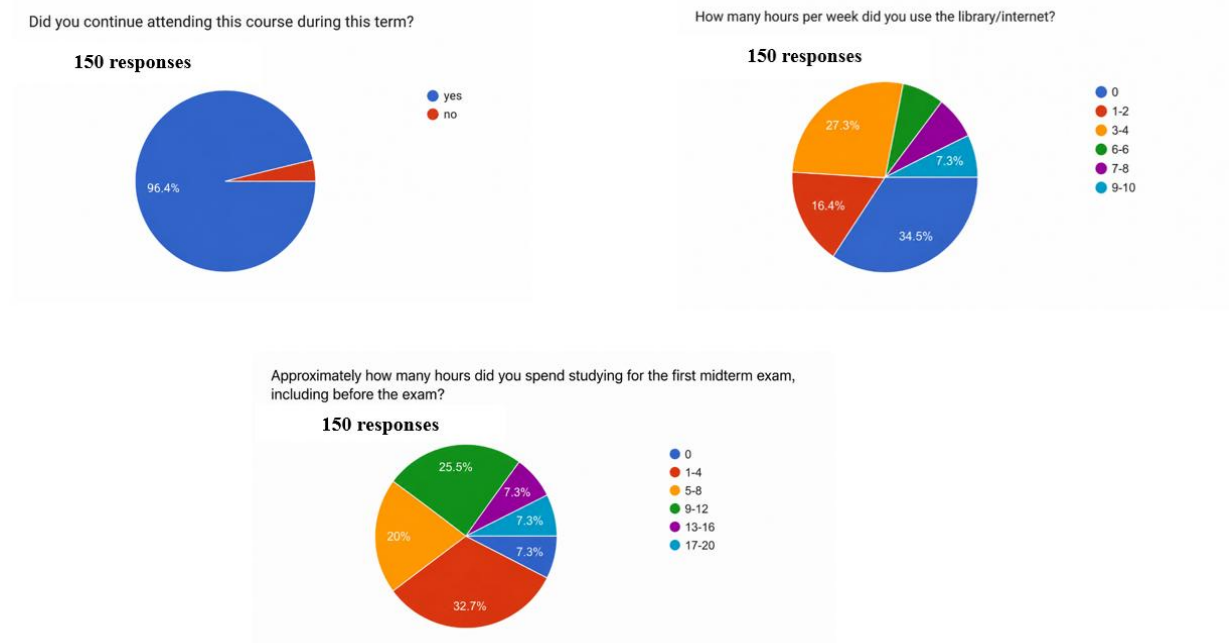


Figure 2. Distribution of students according to (a) course attendance, (b) weekly library/internet use, and (c) study time for the first midterm examination (n = 150).

The fact that academic and performance anxiety ranks second indicates the importance of fear of failure, learning disabilities, and perfectionism on psychological pressure. Financial and housing stressors, as well as personal management and discipline problems, have also emerged as significant dimensions. The highest criticality shown by proactive strategies indicates that students prefer problem-focused coping in the face of controllable stressors. Planning, time management, creating study schedules, and structuring tasks are strategies that can directly affect academic demands. Physical and mental well-being ranks second; social and emotional support ranks third; and relaxation techniques ranks fourth. The emphasis on proactive strategies by religious practices suggests that the cultural context may influence the coping classification [Oyewobi et al. (2021)]

Figure 3 shows the students' final examination preparation and independent learning behaviors: (a) time spent studying for the final examination, (b) distribution of reported study duration for the final examination, and (c) engagement in course-related research using library or internet resources outside class hours (n = 150). The proposed framework combines individual and institutional responsibility [Struthers et. al. (2000).]

. It suggests proactive planning and group work for academic workload, along with curriculum review and improvement of teaching methods; cognitive restructuring, awareness, and counseling for performance anxiety; financial planning, financial aid, and suitable accommodation for financial/housing problems; and goal setting, healthy living, time management workshops, and peer mentoring for personal management problems. It is recommended that universities review curriculum and assessment practices in health programs,

strengthen academic guidance, and distribute workload more evenly throughout the semester. Reducing the weight of high-risk final exams, increasing continuous assessment, and spreading deadlines across different times may be beneficial. Psychological support services for performance anxiety, fear of failure, and perfectionism should be strengthened. The findings also point to the importance of discipline-specific support programs in other application-oriented disciplines such as health sciences, engineering, and law [Yikealo et. al. (2018).]

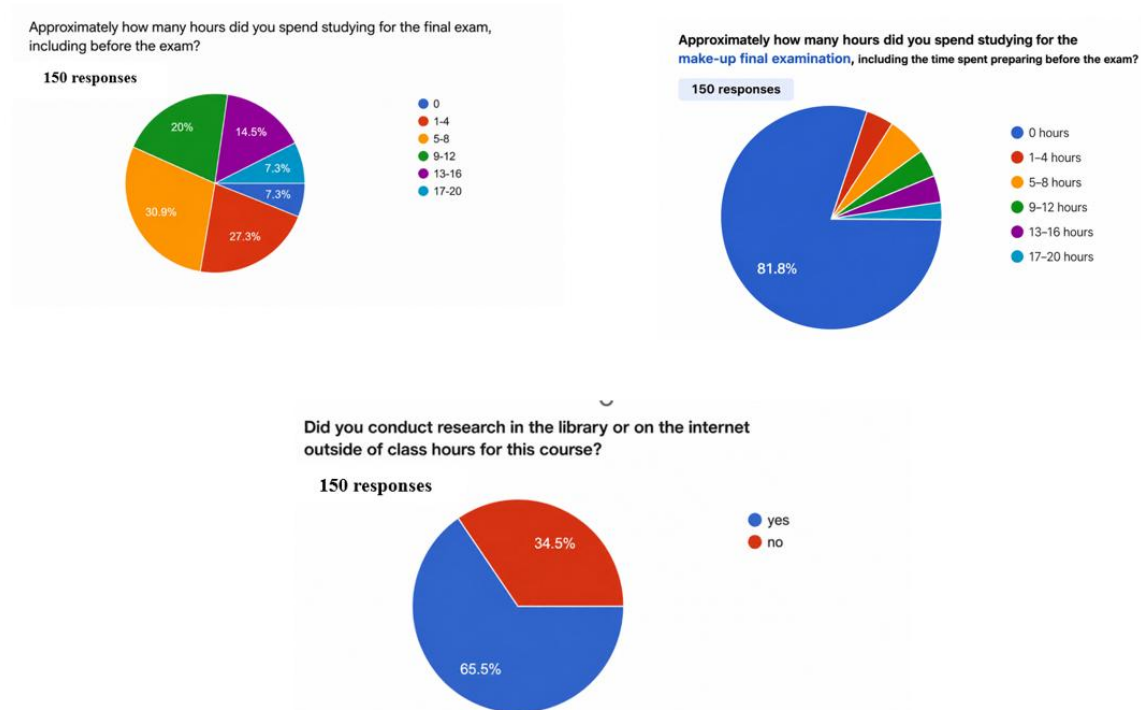


Figure 3. Students' final examination preparation and independent learning behaviors: (a) time spent studying for the final examination, (b) distribution of reported study duration for the final examination, and (c) engagement in course-related research using library or internet resources outside class hours (n = 150).

4. CONCLUSION

The findings indicate that students generally maintained a high level of course attendance, while their independent study behaviors and examination preparation times varied considerably. Most students devoted time to preparing for midterm and final examinations, although the duration of preparation differed among participants. In addition, a substantial proportion of students used library and internet resources for course-related activities outside class hours. These findings highlight the diversity of study habits and academic preparation strategies among health sciences students.

REFERENCES

- Acheampong, A., Adjei, E. K., Adade-Boateng, A. O., Kissi, E., Manu, P., & Atibila, D. W. (2024). Exploring the multidimensional challenges in integrating design for safety (DfS) in the Ghanaian construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*. <https://doi.org/10.1108/JEDT-11-2023-0481>
- Adom, D., Essel, H. B., & Chukwuere, J. (2020). The state of academic stress in the Higher Institutions of Ghana: The way forward. *Universal Journal of Educational Research*, 8(2), 321–331. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080201>
- Ameyaw, E. E., & Chan, A. P. C. (2015). Evaluation and ranking of risk factors in public-private partnership water supply projects in developing countries using fuzzy synthetic evaluation approach. *Expert Systems with Applications*, 42(12), 5102–5116. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.041>
- Amponsah, K. D., Adasi, G. S., Mohammed, S. M., Ampadu, E., & Okrah, A. K. (2020). Stressors and coping strategies: The case of teacher education students at University of Ghana. *Cogent Education*, 7(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2020.1727666>
- Anaman-Torgbor, J. A., Tarkang, E., Adedia, D., Attah, O. M., Evans, A., & Sabina, N. (2021). Academic-related stress among Ghanaian nursing students. *Florence Nightingale Journal of Nursing*, 29(3), 263. <https://doi.org/10.5152/FNJJN.2021.21030>
- Abdi, H. (2003). Factor rotations in factor analyses. *Encyclopedia for Research Methods for the Social Sciences*, 792–795.
- Adom, D., Essel, H. B., & Chukwuere, J. (2020). The state of academic stress in the Higher Institutions of Ghana: The way forward. *Universal Journal of Educational Research*, 8(2), 321–331.
- Dada, J. O., Babatunde, S. O., & Adeleye, R. O. (2019). Assessment of academic stress and coping strategies among built environment undergraduate students in Nigerian higher education. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 11(3), 367–378.
- Labrague, L. J. (2024). Umbrella Review: Stress Levels, Sources of Stress, and Coping Mechanisms among Student Nurses. *Nursing Reports*, 14(1), 362–375.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. New York: Springer.
- Oyewobi, L. O., et al. (2021). Influence of stress and coping strategies on undergraduate students' performance. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 13(4), 1043–1061.
- Struthers, C. W., Perry, R. P., & Menec, V. H. (2000). An examination of the relationship among academic stress, coping, motivation, and performance in college. *Research in Higher Education*, 41, 581–592.
- Yikealo, D., Tareke, W., & Karvinen, I. (2018). The level of stress among college students: A case in the college of education. *Open Science Journal*, 3(4).

GÖRÜNEN PENCERE, KAPANAN İÇ MEKÂN: TARİHTEKİ SAHTE PENCERE PRATİKLERİ ÜZERİNDEN YAPI KABUĞU-İÇ MEKÂN İLİŞKİSİNİN GÜNCEL BİR OKUMASI

Doç. Merve BULDAÇ

Dumlupınar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi İçmimarlık Bölümü,
Evliya Çelebi Kampüsü

ORCID ID: 0000-0001-8390-0175

ÖZET

Yapı kabuğu ve iç mekân arasındaki etkileşim, mekânsal çözümlemelerin yalnızca iç hacim üzerinden değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Cephelerde yer alan pencere açıklıkları, dış yüzeylerde estetik düzen, ritim ve bütünlük oluşturan mimari elemanlar olarak öne çıkarken; iç mekânda gün ışığı, doğal havalandırma, görüş, yönlenme, mahremiyet ve kullanıcı iyi oluşu üzerinde belirleyici rol üstlenmektedir. Bu nedenle pencere, yalnızca cephe kompozisyonunun bir parçası değil, iç mekânın sağlıklı, işlevsel ve yaşanabilir biçimde kurgulanmasını sağlayan temel bir arayüz olarak ele alınmalıdır. Bu çalışma, pencere vergisi uygulamalarıyla ilişkilendirilen sahte ve kapatılmış pencere müdahalelerini, **yapı kabuğu- iç mekân ilişkisinin tarihsel bir kırılma noktası** olarak ele almaktadır. Çalışmanın temel amacı, cephede korunan pencere temsilinin iç mekânda işlevsel karşılığını nasıl yitirdiğini ortaya koymak; bu ayrışmanın iç mekân kalitesi, kullanıcı deneyimi ve sağlıklı mekân üretimi açısından nasıl okunabileceğini içmimarlık disiplini perspektifinden tartışmaktır. Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş; pencere vergisi dönemiyle ilişkilendirilen sahte ve kapatılmış pencere örnekleri **amaçlı örnekleme** yöntemiyle seçilerek görsel analiz yöntemiyle incelenmiştir. Örnekler öncelikle cephe kompozisyonu, ritim, simetri ve pencere temsili açısından değerlendirilmiş; ardından bu müdahalelerin gün ışığı, doğal havalandırma, dış çevreyle görsel ilişki ve kullanıcı iyi oluşu üzerindeki olası etkileri yapı kabuğu- iç mekân ilişkisi bağlamında yorumlanmıştır. Araştırma bulguları, cephede pencere imgesinin korunmasının iç mekânda pencerenin çevresel ve işlevsel rollerinin de korunduğu anlamına gelmediğini göstermektedir. Sahte ve kapatılmış pencere müdahaleleri, temsil ile işlev arasında belirgin bir ayrışma yaratarak yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki ilişkinin zayıflamasına neden olmuştur. Bu yönüyle çalışma, tarihsel bir cephe müdahalesini yalnızca mimari biçimlenme açısından değil, **yapı kabuğu- iç mekân bütünlüğü**, kullanıcı deneyimi ve sağlıklı iç mekân üretimi bağlamında yeniden değerlendirmekte; pencerenin mimari kompozisyonun ötesinde, yaşanabilir mekânların oluşumunda belirleyici bir tasarım bileşeni olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapı kabuğu, İç mekân, Sahte pencere, Kullanıcı deneyimi, Sağlıklı mekân üretimi.

VISIBLE WINDOW, ENCLOSED INTERIOR: A CONTEMPORARY READING OF THE BUILDING ENVELOPE-INTERIOR RELATIONSHIP THROUGH HISTORICAL FAKE WINDOW PRACTICES

ABSTRACT

The interaction between the building envelope and the interior space demonstrates that spatial analyses cannot be evaluated solely based on the interior volume. Window openings on facades stand out as architectural elements that create aesthetic order, rhythm, and unity on exterior surfaces; while inside, they play a decisive role in daylight, natural ventilation, views,

orientation, privacy, and user well-being. Therefore, the window should be considered not only as a part of the facade composition but also as a fundamental interface that ensures the interior space is designed to be healthy, functional, and livable. This study addresses fake and sealed window interventions associated with window tax practices as a historical breaking point in the relationship between the building envelope and interior space. The main aim of the study is to reveal how the representation of windows preserved on the facade has lost its functional counterpart in the interior; and to discuss, from the perspective of the interior architecture discipline, how this separation can be interpreted in terms of interior quality, user experience, and the production of healthy spaces. A qualitative research approach was adopted in the study; fake and sealed window examples associated with the window tax period were selected using purposive sampling and examined through visual analysis. The samples were first evaluated in terms of facade composition, rhythm, symmetry, and window representation; then, the possible effects of these interventions on daylight, natural ventilation, visual relationship with the external environment, and user well-being were interpreted within the context of the building envelope–interior relationship. The research findings indicate that preserving the image of the window on the facade does not mean that the environmental and functional roles of the window are also preserved inside. Fake and sealed window interventions have caused a clear separation between representation and function, weakening the relationship between the building envelope and the interior space. In this respect, the study re-evaluates a historical facade intervention not only in terms of architectural form but also in the context of building envelope–interior integrity, user experience, and the creation of healthy interior spaces; and reveals that the window is a decisive design component in the formation of livable spaces, beyond merely being an element of architectural composition.

Keywords: Building envelope, Interior space, Fake window, User experience, Healthy space production.

1. GİRİŞ

Mimarlık ve içmimarlık disiplinlerinde yapı kabuğu, genellikle dış mekânla yapı arasındaki fiziksel sınır, görsel temsil yüzeyi ve çevresel kontrol elemanı olarak ele alınmaktadır. Ancak bu kabuk, yalnızca dış cepheyi tanımlayan pasif bir yüzeyden daha fazlası olup; iç mekânın ışık, hava, görüş, mahremiyet ve atmosfer gibi temel niteliklerini doğrudan etkileyen aktif bir arayüz olarak kullanıcı karşısına çıkmaktadır. Dolayısıyla iç mekân tasarımları, yalnızca hacmin planlanması, donatı düzeni ve kullanıcı senaryoları üzerinden değil; hacmi çevreleyen kabuk, açıklıklar ve dış mekânla kurulan ilişkiler üzerinden de değerlendirilmelidir. Bu bağlamda çalışma kapsamında ele alınan pencere açıklıkları, yapı kabuğu ve iç mekân arasındaki ilişkinin en belirgin ve çok katmanlı elemanlarından biri olma özelliği taşımaktadır. Pencere, en genel tanımı ile “yapıları ya da ulaşım araçlarını aydınlatmak, havalandırmak amacıyla yapılan, çerçeve, cam, panjur, perde gibi eklentilerle daha kullanışlı bir duruma getiren açıklık” olarak tanımlanabilir (Türk Dil Kurumu Sözlüğü). Bir nesne olarak pencerenin birçok farklı tezahürü vardır. Gür’e (2023) göre pencere, gözlemcilerin ve gözlenenlerin var olduğu iki dünya arasında eşik işlevi görmekte; iç ve dış birbirinden ayırırken, aynı zamanda bu ayrımı silikleştirme potansiyeline de sahip olmaktadır. Le Corbusier (akt. Hurdley, 2021), pencereler için “mimarlık tarihi aynı zamanda pencerelerin de tarihidir” ifadesiyle pencerenin önemini vurgulamaktadır. Pencere, çok eski dönemlerden beri kullanılan temel bir mimari elemandır; ancak burada Le Corbusier, modern çağın pencereler üzerinden de takip edilebileceğine vurgu yapmaktadır. Bu kadar yaygın bir kullanıma sahip olan pencere,

çalışmada ele alınan ve 1696 yılında İngiltere’de, 1798 yılında ise Fransa’da yürürlüğe giren “window tax”, yani pencere vergisi bağlamında, kullanım biçimi açısından düşündürücü bir tartışma alanı sunmaktadır. İngiltere’de pencere vergisi, pencere sayısı üzerinden alınan ve konutun büyüklüğü ile hane halkının ekonomik durumunu ilişkilendiren bir vergi türü olarak uygulanmıştır. Birleşik Krallık Parlamentosu’na göre bu vergi ilk olarak 1696 yılında İngiltere’de yürürlüğe girmiş; daha az pencereye sahip konutların daha az vergi ödemesi düşüncesiyle kurgulanmış, ancak özellikle kentlerde büyük ve bölünmüş yapılarda yaşayan



yoksul gruplar açısından ağır bir vergi yükü oluşturmuştur (URL 1). Benzer biçimde The National Archives, pencere vergisinin 1696’da uygulamaya konduğunu, kısa süre sonra insanların vergiden kaçınmak için pencerelerini tuğla ile örmeye başladığını ve verginin 1851’de kaldırıldığını belirtmektedir (URL 2). Fransa’da ise “impôt sur les portes et fenêtres” olarak adlandırılan kapı ve pencere vergisi, 1798 yılında yürürlüğe girmiştir. Fransa Ekonomi Bakanlığı’nın tarihsel maliye arşivinde, 1798’de kapı ve pencereler üzerinden dördüncü bir verginin oluşturulduğu belirtilmektedir (URL 3). Fransa’daki bu uygulama, yapıların kapı ve pencere sayısı üzerinden vergilendirilmesine dayanmakta ve literatürde 4 Frimaire An VII, yani 24 Kasım 1798 tarihli yasa ile ilişkilendirilmektedir. Bu tarihsel çerçevede pencere sayısına göre alınan vergiler, insanların bu yükten kurtulmak için mevcut pencerelerini tuğla ile örüp sıvayarak kapatmalarına ya da göz aldanması yaratan, gerçek pencere gibi resmedilmiş sahte pencerelerin, yani fenêtres en trompe-l’œil uygulamalarının cephe düzenlerinde yer almasına neden olmuştur (Şekil 1). Bu uygulamalar, beklenen mali getiriye sağlamada sınırlı kalırken, pencere açıklıklarının kapatılması nedeniyle doğal aydınlatma ve havalandırma olanaklarının azalmasına yol açmıştır. Literatürde bu durumun, özellikle yoğun yerleşim alanlarında sağlıksız yaşam koşullarını ağırlaştırdığı ve pencere vergisine yönelik toplumsal eleştirilerin güçlenmesinde etkili olduğu belirtilmektedir (URL 4; URL 5; Mizrahi, 2021).

Şekil 1a-b. Pencere vergisi nedeniyle pencere açıklığının tuğla ile kapatılmasını gösteren tarihsel illüstrasyon (a); Pencere vergisinin kaldırılmasının ardından gün ışığının yeniden iç mekâna ulaşmasını betimleyen tarihsel illüstrasyon (b) (URL 5).

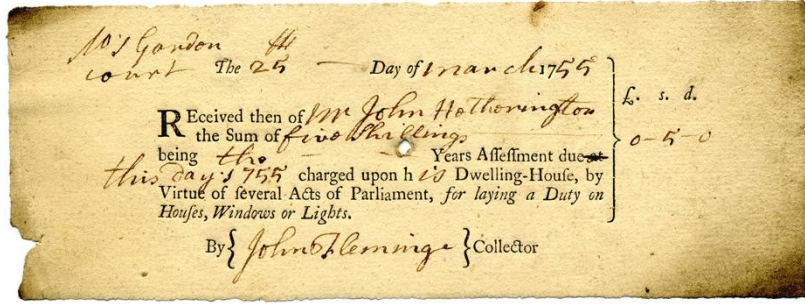
Ünlü yazar Charles Dickens (1850)’da bu vergi ile ilgili;

“Pencere vergisi zorunlu tutulduğundan beri ne hava ne ışık ücretsiz. Doğanın hesapsızca hepimize bahsettiği şey için bizler her yıl pencere başına bu kadar çok ödeme yapmaya mahkûm edildik ve bu ücreti ödeyemeyecek durumda olan fakirler, en temel iki hayati ihtiyaçtan mahrum edildiler”.

şeklinde görüşünü belirtmiştir (Eşrefoğlu, 2018). Bu vergi için söylenecek bir diğer önemli detay ise verginin konut sahibinden değil, kiracısından alınıyor olması ve şehirlerdeki büyük apartmanların bu uygulamadan istisna olmalarıdır (Schwab ve Oates, 2014).

Şekil 2. 1755 yılında bir vatandaştan alınan pencere vergisi makbuzu (URL 2).

Pencere vergisiyle ilişkilendirilen bu uygulamalar, pencerenin yalnızca cephe üzerinde yer alan



mimari bir açıklık olmadığını; ekonomik, toplumsal, estetik ve mekânsal kararlarla biçimlenen çok katmanlı bir tasarım unsuru olduğunu göstermektedir. Vergilendirme politikalarının doğrudan yapı kabuğu üzerinde etkili olması, pencerenin cephedeki varlığını işlevsel bir eleman olmanın ötesine taşıyarak temsil, statü ve düzen meselesi hâline getirmiştir. Bununla birlikte, gerçek pencere açıklıklarının kapatılması ya da sahte pencere imgeleriyle ikame edilmesi, cephe bütünlüğünü koruyan; fakat iç mekânda pencerenin çevresel ve deneyimsel karşılığını ortadan kaldıran çelişkili bir durum yaratmıştır.

Bu çelişki, yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki ilişkinin yalnızca biçimsel ya da estetik bir mesele olmadığını göstermesi bakımından önemlidir. Çünkü cephede pencere imgesinin korunması, iç mekânda pencerenin işlevsel varlığının sürdüğü anlamına gelmemektedir. Aksine, kapatılan ya da yalnızca resimsel olarak temsil edilen pencereler, iç mekânda gün ışığına erişimin, doğal havalandırmanın, dış çevreyle görsel temasın ve kullanıcıda açıklık hissinin zayıflamasına neden olabilecek bir mekânsal kayba işaret etmektedir. Bu yönüyle pencere vergisi sonrasında ortaya çıkan kapatılmış ya da sahte pencere pratikleri, cephe düzeni ile iç mekân niteliği arasında oluşabilecek gerilimi görünür kılan tarihsel örnekler olarak değerlendirilebilir.

Sağlıklı iç mekân tartışmaları açısından bakıldığında, pencere açıklıklarının kapatılması yalnızca cephe kompozisyonunu ilgilendiren bir müdahale değildir. Dünya Sağlık Örgütü, konut sağlığına ilişkin rehberinde sağlıklı ve yetersiz konut koşullarının insan sağlığı üzerindeki yükünü azaltmaya yönelik öneriler sunduğunu; konut koşullarının sağlık ve güvenlik açısından doğrudan önem taşıdığını belirtmektedir (World Health Organization, 2018). Bu çerçevede pencerenin sağladığı ışık, hava ve dış çevreyle temas olanaklarının zayıflaması, iç mekânın yaşanabilirlik niteliğini etkileyen önemli bir sorun olarak okunabilir. Pencerenin cephedeki temsili ile iç mekândaki işlevsel karşılığı arasındaki ayrışma, içmimarlık disiplini açısından özellikle önemlidir; çünkü pencere, yalnızca dış yüzeyde bir ritim ve kompozisyon unsuru değil, aynı zamanda kullanıcının mekânsal deneyimini, konforunu ve iyi oluşunu etkileyen temel bir arayüzdür.

Bu çalışma, tarihsel sahte pencere pratiklerini yalnızca mimarlık tarihinde karşılaşılan ilginç bir cephe uygulaması olarak değil, yapı kabuğu-iç mekân ilişkisini tartışmaya açan eleştirel bir örnek olarak ele almaktadır. Bu doğrultuda pencerenin cephedeki temsili ile iç mekândaki işlevsel karşılığı arasındaki ayrışma, içmimarlık disiplini perspektifinden yeniden değerlendirilmektedir. Çalışmanın temel amacı, pencerenin iç mekân deneyimi, sağlıklı mekân üretimi ve kullanıcı iyi oluşu üzerindeki belirleyici rolünü tarihsel sahte pencere örnekleri

üzerinden görünür kılmaktır.

Bu bağlamda çalışma, “görünen pencere” ile “kapanan iç mekân” arasındaki karşıtlıktan hareketle, bina kabuğunun iç mekândan bağımsız ele alınamayacağını savunmaktadır. Tarihsel sahte pencere pratikleri üzerinden yapılacak güncel okuma, cephe tasarımının yalnızca dış görünüş, ritim ve kompozisyon bağlamında değil; iç mekânın çevresel, işlevsel ve deneyimsel niteliğiyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu araştırmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş ve pencere vergisi dönemiyle ilişkilendirilen sahte ve kapatılmış pencere müdahaleleri, yorumlayıcı bir görsel analiz çerçevesinde incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, söz konusu müdahalelerin yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki ilişkiyi nasıl dönüştürdüğünü ortaya koymak olduğundan, araştırma nicel bir ülke karşılaştırmasına değil, müdahale biçimlerinin ortak mekânsal ve deneyimsel sonuçlarının değerlendirilmesine dayanmaktadır. Araştırma kapsamında incelenen görseller **amaçlı örnekleme** yöntemiyle seçilmiştir. Örnek seçiminde; sahte ya da kapatılmış pencere müdahalesinin cephe üzerinde açık biçimde okunabilmesi, gerçek pencere açıklığının işlevsiz hâle getirilmiş ya da temsili olarak korunmuş olması, cephe düzeni ile pencere müdahalesi arasındaki ilişkinin görsel olarak değerlendirilebilmesi ve görsel verinin analiz için yeterli nitelikte olması temel ölçütler olarak belirlenmiştir. Örnek dağılımı sayısal eşitlik esasına göre değil, veri zenginliği, görsel açıklık ve araştırma sorusunu temsil etme yeterliliği doğrultusunda oluşturulmuştur. Bu çerçevede İngiltere, pencere vergisi uygulamasına ilişkin tarihsel kayıtların ve belgelenmiş sahte ya da kapatılmış pencere örneklerinin daha yaygın olması nedeniyle araştırmanın temel örneklem alanını oluşturmuştur. Fransa’dan seçilen örnek ise benzer müdahale biçimlerinin farklı bir tarihsel ve ulusal bağlamda da görülebildiğini göstermek ve değerlendirmelerin yalnızca İngiltere örnekleriyle sınırlı kalmadığını ortaya koymak amacıyla destekleyici bir vaka olarak çalışmaya dâhil edilmiştir. Dolayısıyla araştırmanın amacı İngiltere ve Fransa arasında nicel ya da genellenebilir bir karşılaştırma yapmak değil; pencere vergisiyle ilişkilendirilen müdahale biçimlerinin yapı kabuğu–iç mekân ilişkisi üzerindeki ortak etkilerini tartışmaktır. Seçilen örnekler iki aşamalı bir değerlendirme süreciyle analiz edilmiştir;

- İlk aşamada yapı kabuğu ve cephe düzenine ilişkin biçimsel özellikler ele alınmış; müdahale biçimi, cephe ritmi, simetri, pencere temsili, cephe bütünlüğü ve müdahale izlerinin okunabilirliği gibi ölçütler üzerinden görsel analiz gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, gerçek pencere açıklığının işlevini kaybetmesine rağmen cephedeki pencere imgesinin hangi biçimlerde sürdürüldüğü karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

- İkinci aşamada ise görsel analiz bulguları içmimarlık disiplini perspektifinden kavramsal olarak yorumlanmıştır. Kapatılan ya da yalnızca temsili olarak varlığını sürdüren pencere açıklıklarının doğal gün ışığına erişim, doğal havalandırma, dış çevreyle görsel ilişki, mekânsal yönelme, açıklık ve kapalılık algısı, kullanıcı konforu ve sağlıklı iç mekân koşulları üzerindeki olası etkileri değerlendirilmiştir. Bu aşamadaki yorumlar doğrudan iç mekân gözlemlerine ya da fiziksel performans ölçümlerine değil, görsellerden elde edilen bulgular ile pencerenin çevresel, işlevsel ve deneyimsel rollerine ilişkin kuramsal bilginin birlikte okunmasına dayanmaktadır.

Araştırmada kullanılan örnekler, pencere vergisi sonucunda ortaya çıkan tüm müdahale biçimlerini veya yapı türlerini temsil etme iddiası taşımamaktadır. Örnekler, pencerenin cephedeki biçimsel varlığı ile iç mekândaki işlevsel karşılığı arasındaki ayrışmayı görünür kılan

karakteristik vakalar olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda çalışma, sahte ve kapatılmış pencere müdahalelerinin belirli yapılarıdaki fiziksel performansını ölçmekten ziyade, **vergisel bir düzenlemenin yapı kabuğunda meydana getirdiği değişimlerin iç mekânın çevresel, işlevsel ve deneyimsel niteliğini nasıl etkileyebildiğini tarihsel örnekler üzerinden tartışmaktadır. Bu yaklaşım, yapı kabuğu ile iç mekânın birbirinden bağımsız değil, birbirini sürekli dönüştüren bütünleşik bir sistem olduğunu; yapı kabuğuna yönelik ekonomik veya politik müdahalelerin doğrudan iç mekân koşullarına da yansıyabileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.**

Tablo 1. Sahte ve kapatılmış pencere örnekleri

Şekil 3'te, yapının cephe kompozisyonunun büyük ölçüde korunmasına rağmen birçok pencere açıklığının tuğla ile örülerek kapatıldığı görülmektedir. Kapatılan açıklıklar, çevresindeki söveler ve pencere çerçeveleri korunarak cephedeki ritim, simetri ve düşey aks düzeninin devam etmesi sağlanmıştır. Böylece yapı, dışarıdan bakıldığında pencere düzenini büyük ölçüde muhafaza eden dengeli bir cephe görünümü sunmaktadır. Buna karşın, sağ tarafta açık bırakılan tek pencere ile karşılaştırıldığında, kapatılan açıklıkların artık işlevsel bir pencere niteliği taşımadığı açıkça görülmektedir. İç mimarlık disiplini açısından değerlendirildiğinde bu uygulama, cephe estetiği ile iç mekân performansı arasındaki gerilimi görünür kılmaktadır. Cephede pencere oranı ve ritmi korunurken, kapatılan açıklıkların ait olduğu hacimlerde doğal gün ışığı, doğal havalandırma ve dış çevreyle görsel ilişkinin önemli ölçüde azalmış olabileceği değerlendirilmektedir. Dolayısıyla pencerenin cephedeki temsili korunmasına rağmen, iç mekândaki çevresel ve işlevsel karşılığı ortadan kalkmaktadır. **Şekil 4'de**, yapının ana cephesinde gerçek pencere açıklıkları ile işlevsel olmayan kör pencere yüzeylerinin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Kör açıklıklar, gerçek pencere oranlarını ve düşey aks düzenini tekrar ederek cephede simetri, ritim ve bütünlük oluşturmaktadır. Böylece cephe, gerçek açıklık sayısından bağımsız olarak dengeli ve hiyerarşik bir kompozisyon sunmaktadır. **Şekil 5'te** bitişik nizam konutlardan oluşan bir sokak dokusu içerisinde, bazı pencere açıklıklarının tuğla ile örülerek kapatıldığı görülmektedir. Kapatılan açıklıklar, mevcut pencere söveleri ve lentoları korunarak cephe düzenine dâhil edilmiş; böylece yapı cephesindeki oran, ritim ve simetri büyük ölçüde devam ettirilmiştir. Özellikle orta akslarda yer alan kapatılmış açıklıklar, ilk bakışta gerçek pencere izlenimi vermekte; ancak dolgu malzemesi sayesinde işlevsel olmadıkları anlaşılmaktadır. Son görsel olan ve Fransa'da bulunan **Şekil 6'da** ise; gerçek pencere açıklıkları yerine cephe yüzeyine resmedilmiş **trompe-l'œil (göz yanılsaması)** pencereler bulunmaktadır. İlk bakışta gerçek pencere olarak algılanan bu yüzeyler, çevresindeki kat silmeleri, söveler ve balkon korkulukları ile birlikte tasarlanarak cephedeki ritim, oran ve simetrisinin korunmasını sağlamaktadır. Özellikle balkon korkuluklarının gerçek olması, ancak arkalarında işlevsel bir pencere bulunmaması, cephe kompozisyonunun görsel sürekliliğini güçlendiren dikkat çekici bir tasarım yaklaşımıdır. İçmimarlık disiplini açısından değerlendirildiğinde ise bu uygulama, pencerenin yalnızca biçimsel temsilinin sürdürüldüğünü, buna karşın gün ışığı, doğal havalandırma ve dış çevreyle görsel ilişki gibi temel işlevlerinin ortadan kalktığını göstermektedir. Böylece cephede pencere algısı korunurken, pencerenin iç mekânla kurduğu çevresel ve deneyimsel ilişki tamamen kesilmektedir. Bu durum, pencerenin yapı kabuğunda temsil edilen mimari bir öge olmasının, iç mekânda aynı işlevsel karşılığı taşıdığı anlamına gelmediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu örnek, ekonomik ya da yönetsel kararlar doğrultusunda yapılan müdahalelerin yalnızca cephe görünümünü değil, yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki etkileşimi de dönüştürebildiğini göstermektedir. Cephede estetik bütünlük

korunurken, iç mekânın doğal aydınlatma ve havalandırma potansiyeli ortadan kalkmakta; böylece yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki işlevsel bütünlük zayıflamaktadır.



Şekil 3-4-5-6. Sahte ve kapatılmış pencere örnekleri (Eşrefoğlu, 2018 makalesinden ve URL 6'dan alınmıştır).

Çalışma kapsamında seçilen sahte pencere örnekleri, yapı kabuğu üzerinde gözlemlenebilen ortak biçimsel özellikler üzerinden değerlendirilmiştir. Görsel analiz sürecinde müdahale biçimi, pencere temsili, cephe ritmi, simetri ve bütünlük gibi ölçütler esas alınmıştır. Böylece farklı örneklerde tekrar eden cephe düzenleri ve gerçek pencere açıklığının işlevsiz hâle gelmesine karşın cephedeki temsilin sürdürülme biçimleri karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur. Görseller, yapıların iç mekânlarına ilişkin doğrudan veri sunmadığından, her örnek

için ayrı bir iç mekân çözümlemesi yapılmamıştır. Bunun yerine kapatılan ya da temsil düzeyinde kalan pencere açıklıklarının gün ışığı, doğal havalandırma ve dış çevreyle görsel ilişki açısından oluşturabileceği ortak mekânsal sonuçlar, bulguların ardından içmimarlık disiplini bağlamında tartışılmaktadır. Görsel analizde kullanılan ölçütler Tablo 2’de sunulmaktadır;

Tablo 2. Tablo 1’de Verilen Örneklere ilişkin Ortak Analiz Ölçütleri

Ölçüt	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4
Müdahale biçimi	Tuğla ile kapatılmış	Kör pencere	Tuğla ile kapatılmış	Trompe-l'œil sahte pencere
Cephe ritmi	Korunmuş	Korunmuş	Korunmuş	Korunmuş
Simetri	Korunmuş	Güçlü	Korunmuş	Güçlü
Pencere temsili	Gerçek açıklık kapatılmış	Temsili pencere	Gerçek açıklık kapatılmış	Resimsel temsil
Gün ışığı	Azalmış olabilir	İşlevsiz açıklık nedeniyle katkı sağlamıyor olabilir	Azalmış olabilir	Katkı sağlamıyor olabilir
Doğal Havalandırma	Azalmış olabilir	Katkı sağlamıyor olabilir	Azalmış olabilir	Sağlamıyor olabilir
Görsel ilişki	Zayıflamış olabilir	Bulunmuyor olabilir	Zayıflamış olabilir	Bulunmuyor olabilir
Kullanıcı deneyimi	Olumsuz etkilenmiş olabilir	İşlevsel katkı sınırlı olabilir	Olumsuz etkilenmiş olabilir	Temsil sürerken deneyim zayıflamış olabilir
Cephe estetiği	Korunmuş	Korunmuş	Korunmuş	Korunmuş
Genel yorum	Cephe korunurken pencerenin işlevsel rolü ortadan kalkmıştır.	Pencere cephede temsil edilmekte, işlevi ise büyük ölçüde ikincil kalmaktadır.	İşlevsel ve işlevsiz pencerelerin aynı cephede birlikte kullanılması, yapı kabuğu ile iç mekân arasında kısmi bir ayrışma oluşturmuştur.	Tam temsil - işlev ayrışması

Çalışmada görsel analiz sonucunda, cephe üzerinde gözlemlenen biçimsel değişimlerin yapı kabuğu–iç mekân ilişkisi bağlamında nasıl okunabileceğini ortaya koymak amacıyla ikinci bir değerlendirme çerçevesi oluşturulmuştur. Bu çerçevede, pencerenin cephedeki temsilinin iç mekândaki olası karşılıkları içmimarlık disiplini perspektifinden ele alınmış ve Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. Sahte Pencere Müdahalelerinin İç Mekân Açısından Kavramsal Değerlendirilmesi

Değerlendirme Boyutu	Yapı Kabuğundaki Gözlem	İç Mekâna Olası Yansıması
Müdahale biçimi	Pencere açıklıkları kapatılmış, kör pencereye dönüştürülmüş ya da trompe-l'œil tekniğiyle temsil edilmiştir.	Gerçek pencere işlevi ortadan kalkmış; açıklık yalnızca cephede temsil edilmiştir.
Cephe düzeni	Cephe ritmi, oran ve simetri büyük ölçüde korunmuştur.	Cephede süreklilik korunurken iç mekânda çevresel performans zayıflamış olabilir.
Pencere temsili	Pencere görsel olarak varlığını sürdürmektedir.	Gün ışığı, doğal havalandırma ve dış çevreyle görsel ilişki kesilmiş olabilir.

Mekânsal etki	Yapı kabuğunda estetik bütünlük korunmuştur.	İç mekânda daha kapalı, daha sınırlı ve dış çevreyle daha zayıf ilişki kuran bir atmosfer oluşmuş olabilir.
Kullanıcı deneyimi	Cephede pencere algısı devam etmektedir.	Kullanıcı konforu, yönelme, ferahlık algısı ve iyi oluş olumsuz etkilenmiş olabilir.
Yapı kabuğu-iç mekân ilişkisi	Temsil korunmuş, ancak işlev değişmiştir.	Yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki çevresel ve işlevsel bütünlük zayıflamıştır.
Genel değerlendirme	Ekonomik bir karar doğrultusunda yapı kabuğunda gerçekleştirilen müdahaleler cephe estetiğini korurken, pencerenin iç mekândaki çevresel, işlevsel ve deneyimsel rollerini büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır. Bu durum, yapı kabuğu ile iç mekânın birbirinden bağımsız değil, karşılıklı etkileşim içinde çalışan bütünlük bir sistem olduğunu göstermektedir.	

Sonuç olarak vergi politikaları gibi ekonomik kararların yapı kabuğunda oluşturduğu değişiklikler, cephede estetik sürekliliği korurken iç mekânın çevresel performansını ve kullanıcı deneyimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum, yapı kabuğu ile iç mekânın birbirinden bağımsız tasarlanamayacağını gösterirken, cepheye ilişkin tasarım ve müdahale kararlarının yalnızca görsel bütünlük üzerinden değil; gün ışığı, doğal havalandırma, mekânsal konfor ve kullanıcı sağlığı gibi ölçütler dikkate alınarak bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

SONUÇ

Pencere vergisi uygulamaları, çoğunlukla maliye tarihi ya da mimarlık tarihi kapsamında ele alınmış; bu süreçte ortaya çıkan sahte ve kapatılmış pencere uygulamaları ise daha çok cephe düzenini etkileyen tarihsel müdahaleler olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma ise söz konusu örnekleri içmimarlık disiplini perspektifinden yeniden okuyarak, yapı kabuğunda gerçekleştirilen bir müdahalenin iç mekân üzerindeki yansımalarını tartışmaya açmıştır. Böylece tarihsel bir uygulama üzerinden, cephede alınan kararların yalnızca dış görünüme ilişkin olmadığı; mekânın kullanım niteliğini de dönüştürebildiği ortaya konulmuştur.

İncelenen örnekler, cephe kompozisyonunun büyük ölçüde korunabildiğini; buna karşın pencerenin kullanıcıya sunduğu temel mekânsal olanakların aynı biçimde sürdürülemediğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle, yapının dış görünüşünde devamlılık sağlanırken iç mekânın kullanım koşullarında önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu durum, yapı kabuğunda gerçekleştirilen müdahalelerin yalnızca biçimsel sonuçlar üretmediğini; mekânın algılanma biçimini, kullanım potansiyelini ve yaşanabilirliğini de etkileyen tasarım kararları olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın ortaya koyduğu bu değerlendirme, içmimarlık disiplini açısından önemli bir noktaya işaret etmektedir. İç mekânın niteliği çoğu zaman hacim organizasyonu, donatı yerleşimi ya da malzeme, renk vb. tercihleri üzerinden tartışılrsa da bu niteliklerin önemli bir bölümü yapı kabuğunda alınan kararlar tarafından belirlenmektedir. Dolayısıyla cephe tasarımı ile iç mekân tasarımı birbirinden bağımsız ilerleyen iki süreç olarak değil, aynı tasarım probleminin birbirini tamamlayan bileşenleri olarak ele alınmalıdır. Yapı kabuğuna ilişkin her müdahale, iç mekânın fiziksel ve deneyimsel özelliklerini dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Bu yönüyle çalışma, pencere vergisi örneğini yalnızca tarihsel bir olay olarak değerlendirmek yerine, bugünün tasarım anlayışı açısından da düşündürücü bir örnek olarak ele almaktadır. Bugün cephe tasarımı etkileyen ekonomik, teknik ya da yönetsel kararlar farklılaşmış olsa da yapı kabuğuna ilişkin tercihlerin iç mekân üzerindeki etkisi değişmemiştir. Bu nedenle cephe tasarımına yönelik kararların yalnızca estetik ya da teknik performans üzerinden değil, oluşturacağı iç mekân koşulları birlikte değerlendirilmelidir. Aksi hâlde, tarihsel örneklerde

olduğu gibi, dış kabukta elde edilen kazanımlar iç mekânda beklenmeyen nitelik kayıplarına dönüşebilecektir.

Sonuç olarak bu çalışma, sahte ve kapatılmış pencere örneklerini içmimarlık perspektifiyle ele alarak yapı kabuğu ile iç mekân arasındaki karşılıklı etkileşime ilişkin farklı bir okuma önermektedir. Literatürde çoğunlukla ekonomik ya da tarihsel bağlamda incelenen pencere vergisi uygulamalarının, tasarım disiplini açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymakta; yapı kabuğuna ilişkin kararların iç mekân üzerindeki etkilerini merkeze alan yeni araştırmalar için kavramsal bir tartışma zemini sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Eşrefoğlu, B. (2018). Pencere Vergisi: Bir zamanlar güneş batmayan ülkede gün ışığı da paraylaydı. *Paydos Dergisi*, Temmuz.

<https://baharesrefoglu.wordpress.com/2018/06/20/pencere-vergisi-bir-zamanlar-gunes-batmayan-ulkede-gun-isigi-da-paraylaydi/>.

Gür, N. (2023). Sanatta Pencere-Çerçeve Metaforu Üzerinden Olay Örgüsünde Gedikler. *Sanat Yazıları*, 49, 405-423.

Hurdley, R. (2021). Hidden History of Window[Audio Podcast]. BBC Radio 4. <https://www.bbc.co.uk/programmes/m001009>

Mizrahi, E. (2021). Tuhaf vergiler – İlginç binalar. https://dergi.salom.com.tr/haber-745-tuhaf_vergiler__ilginc_binalar.html (Erişim Tarihi: 08.07.2026).

Schwab R. M. & Oates W. E. (2014). The Window Tax: A Case Study in Excess Burden. *Journal of Economic Perspectives*, 29(1), 163–180.

TDK. Pencere tanımı. <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 08.07.2026).

URL 1. Window Tax. <https://www.parliament.uk/about/living-heritage/transformingsociety/towncountry/towns/tyne-and-wear-case-study/about-the-group/housing/window-tax/> (Erişim Tarihi: 08.07.2026).

URL2. Window Tax. <https://www.nationalarchives.gov.uk/education/resources/georgian-britain-age-modernity/window-tax/> (Erişim Tarihi: 08.07.2026).

URL 3. Fiscalité-Historique. <https://www.economie.gouv.fr/saef/fiscalite-historique> (Erişim Tarihi: 08.07.2026).

URL 4. Pencere Vergisi. <https://www.adamsmith.org/blog/the-window-tax> (Erişim Tarihi: 08.07.2026).

URL 5. Pencere Vergisi (2017). <https://www.rakamlarveyalanlar.com/pencere-vergisi/> (Erişim Tarihi: 10.07.2026).

URL 6. Paris'te Pencereler Neden Kapatılıyor? Hava Sıkıntısı Çekmeyen Bir Verginin Hikayesi. <https://www.sortiraparis.com/tr/pariste-ne-ziyaret-yapmali/tarih-tedavisi/articles/331357-neden-sahte-pencereler-paris-hava-vergisini-mahkum-etti>

(Erişim Tarihi: 19.07.2026).

Who Housing and Guidelines (2018). World Health Organization, ISBN 978-92-4-155037-6. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/be014865-921a-482c-89e49191c7476e13/content>

TERMAL TURİZM İŞLETMELERİNDE REKABET GÜCÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER: BİR LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Prof. Dr. Aliye ÇILAN AKIN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Turizm Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, Bolu
ORCID ID: 0000-0001-8589-7547

Dr. Öğr. Üyesi Adnan AKIN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu MYO, Otel, Lokanta ve İkram Hizmetleri
Bölümü, Bolu
, ORCID ID: 0000-0003-1274-1538

ÖZET

Termal turizm pazarında artan talep, değişen ziyaretçi beklentileri ve destinasyonlar arasındaki rekabet, işletmelerin rekabet güçlerini etkileyen unsurların belirlenmesini önemli hâle getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, termal turizm işletmelerinin rekabet gücünü etkileyen temel faktörleri ulusal ve uluslararası literatür doğrultusunda incelemektir. Yapılan literatür değerlendirmesi sonucunda hizmet kalitesi, pazarlama ve marka yönetimi, fiziksel altyapı ve doğal kaynaklar ile sürdürülebilirlik ve yenilikçiliğin termal turizm işletmelerinin rekabet gücünü etkileyen temel unsurlar arasında yer aldığı görülmüştür. Hizmet kalitesi ve nitelikli insan kaynağının ziyaretçi memnuniyeti ve sadakatının geliştirilmesinde; pazarlama, markalaşma ve dijital uygulamaların işletmelerin görünürlüğünün ve pazardaki farklılaşmasının artırılmasında önemli olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında doğal termal kaynakların etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, nitelikli fiziksel altyapı ile desteklenmesi ve yenilikçi uygulamaların işletme süreçlerine entegre edilmesi, uzun dönemli rekabet gücünün korunmasını destekleyen unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak termal turizm işletmelerinin rekabet gücünün birbirini tamamlayan çok boyutlu faktörlerin birlikte değerlendirilmesine bağlı olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Termal turizm, rekabet, hizmet kalitesi, pazarlama, sürdürülebilirlik.

FACTORS AFFECTING THE COMPETITIVENESS OF THERMAL TOURISM BUSINESSES: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Increasing demand in the thermal tourism market, changing visitor expectations, and growing competition among destinations have made it increasingly important to identify the factors affecting the competitiveness of thermal tourism businesses. This study aims to examine the key factors influencing the competitiveness of thermal tourism businesses based on a review of the national and international literature. The literature review indicates that service quality, marketing and brand management, physical infrastructure and natural resources, sustainability, and innovation are among the key factors affecting the competitiveness of thermal tourism businesses. Service quality and qualified human resources play an important role in enhancing visitor satisfaction and loyalty, while marketing, branding, and digital practices contribute to increasing business visibility and differentiation in the market. In addition, the effective and sustainable management of natural thermal resources, their integration with high-quality physical infrastructure, and the incorporation of innovative practices into business processes emerge as important factors supporting long-term competitiveness. Overall, the

competitiveness of thermal tourism businesses depends on the integrated consideration of multiple and complementary factors.

Keywords: Thermal tourism, competitiveness, service quality, marketing, sustainability.

GİRİŞ

Termal turizm, doğal termal ve mineral su kaynaklarının sağlık, tedavi, rehabilitasyon ve dinlenme amaçlı değerlendirilmesine dayanan bir turizm türüdür. Şifa arayışı, sağlıklı yaşam bilincinin artması ve yaşam kalitesini yükseltmeye yönelik beklentiler, termal turizme olan talebin giderek artmasında etkili olmaktadır (Lee & King, 2006). Sahip olduğu doğal kaynaklar ve sağlık odaklı hizmet yapısı sayesinde termal turizm, destinasyonların turizm çeşitliliğinin artırılmasına, turizm faaliyetlerinin yıl geneline yayılmasına ve bölgesel kalkınmanın desteklenmesine önemli katkılar sunmaktadır (Gül & Gül, 2016). Bu doğrultuda termal turizm, yalnızca doğal kaynakların değerlendirildiği bir turizm faaliyeti olmanın ötesinde, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla destinasyonların sürdürülebilir gelişimini destekleyen stratejik öneme sahip bir turizm türü olarak değerlendirilmektedir (Blanco-Cerradelo vd., 2022).

Termal turizm pazarında artan destinasyon çeşitliliği ve değişen ziyaretçi beklentileri, işletmeler arasındaki rekabetin daha belirgin hâle gelmesine yol açmaktadır (Lee & King, 2006). Rekabet ortamında öne çıkabilmek, işletmelerin pazardaki konumlarını güçlendirecek ve ziyaretçi tercihlerini etkileyebilecek farklılaştırıcı uygulamalar geliştirmelerini gerekli kılmaktadır (Blanco-Cerradelo vd., 2022). Termal oteller açısından sürdürülebilir yönetim anlayışının benimsenmesi ve çevresel performansın güçlendirilmesi de rekabet avantajının korunmasında stratejik önem taşımaktadır (Baydeniz & Altın, 2025). Bu kapsamda çalışmanın amacı, termal turizm işletmelerinin rekabet gücünü etkileyen temel faktörleri ulusal ve uluslararası literatür doğrultusunda bütüncül bir yaklaşımla incelemektir. Buna göre hizmet kalitesi, pazarlama ve marka yönetimi, fiziksel altyapı ve doğal kaynaklar ile sürdürülebilirlik ve yenilikçilik başlıkları altında rekabet gücünü etkileyen temel unsurlar ele alınmış ve termal turizm işletmeleri açısından değerlendirilmiştir.

1. Termal Turizm İşletmelerinde Rekabet Gücünü Etkileyen Faktörler

1.1 Hizmet Kalitesi

Hizmet kalitesi, hizmet işletmelerinin rekabet üstünlüğü sağlamasında temel unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Grönroos (1984), hizmet kalitesinin yalnızca müşteriye sunulan teknik çıktılarla açıklanamayacağını, hizmetin sunuluş biçiminin de kalite algısında belirleyici olduğunu ifade etmektedir. Bu kapsamda hizmet kalitesi; müşterinin hizmet sonunda elde ettiği sonucu ifade eden teknik kalite (technical quality) ile hizmetin sunum sürecini ifade eden fonksiyonel kalite (functional quality) olmak üzere iki temel boyutta ele alınmaktadır. Bunun yanında işletmenin kurumsal imajı da müşterilerin hizmet kalitesini değerlendirme sürecini etkileyen önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla algılanan hizmet kalitesi, teknik kalite, fonksiyonel kalite ve işletme imajının birlikte değerlendirilmesiyle şekillenmektedir. Bu kuramsal yaklaşım, Parasuraman ve arkadaşları (1988) tarafından geliştirilen *SERVQUAL* modeliyle daha sistematik bir ölçme çerçevesine kavuşturulmuştur. Araştırmacılar hizmet kalitesini, müşterilerin hizmetten önceki beklentileri ile hizmet sonrasındaki algılarının karşılaştırılması sonucunda oluşan genel değerlendirme olarak tanımlamaktadır. Bu doğrultuda hizmet kalitesinin fiziksel unsurlar, güvenilirlik, yanıt verebilirlik, güvence ve empati olmak üzere beş temel boyut altında değerlendirilebileceği belirtilmektedir. Bu boyutlar, özellikle hizmet işletmelerinde müşteri memnuniyetinin

artırılması ve sürdürülebilir rekabet avantajı sağlanmasında temel göstergeler olarak kabul edilmektedir.

Son yıllarda sağlık turizmi sektöründe yaşanan büyüme ve uluslararası pazarda artan rekabet, hizmet sunan işletmeleri yalnızca fiziksel altyapılarını geliştirmeye değil, aynı zamanda hizmet kalitesini sürekli iyileştirmeye de yöneltmektedir. Özellikle hizmetin soyut yapısı ile hizmet üretimi ve tüketiminin eş zamanlı gerçekleşmesi, sunulan hizmetin kalitesini işletmeler açısından önemli bir rekabet unsuru hâline getirmektedir. Bu nedenle sağlık turizmi alanında faaliyet gösteren işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde edebilmesi, müşteri beklentilerini karşılayan, müşteri memnuniyeti oluşturan, güvenilir ve kaliteli hizmet sunumuna bağlıdır. Bu kapsamda hizmet kalitesinin etkin biçimde yönetilmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması ve işletmelerin rekabet gücünün sürdürülebilir hâle getirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır (Marković & Raspor, 2010).

Hizmet kalitesi, termal turizm işletmelerinde müşterilere sunulan hizmetin teknik yeterliliğinin yanı sıra hizmetin sunuluş sürecini ve müşterilerin işletmeye ilişkin algılarını da kapsamaktadır. Teknik kalite, müşterinin hizmet sonucunda elde ettiği çıktıyı; fonksiyonel kalite ise hizmetin müşteriye nasıl sunulduğunu ifade etmektedir. İşletme imajı da müşterilerin hizmet kalitesine ilişkin değerlendirmelerini etkileyen temel unsurlardan biridir. Termal turizm özelinde gerçekleştirilen araştırmalar, teknik kalite, fonksiyonel kalite ve işletme imajı boyutları üzerinden değerlendirildiğini göstermektedir (Grönroos, 1984; Silvestri vd., 2017).

Termal turizm işletmelerinde hizmet kalitesinin sürdürülebilir biçimde sağlanması, nitelikli insan kaynağının varlığıyla yakından ilişkilidir. Turizm hizmetlerinin sunumunda çalışanların işe alınması, eğitilmesi, geliştirilmesi ve sürekli öğrenme süreçleriyle desteklenmesi, kaliteli hizmet üretiminin temel koşulları arasında yer almaktadır. Termal merkezler üzerine gerçekleştirilen araştırmalarda da personel eğitimi, çalışanların değerlendirilmesi, kurum içi iletişim ve motivasyonun hizmet standartlarının yükseltilmesinde ve işletme performansının geliştirilmesinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca termal tesis kullanıcılarının hizmet kalitesine ilişkin değerlendirmelerinde çalışanların teknik yeterliliği, hizmeti doğru ve güvenilir biçimde sunmaları, müşterilere zamanında yardımcı olmaları ve bireysel ilgi göstermeleri öne çıkan unsurlar arasında yer almaktadır (Baum, 2007; Quintela vd., 2011; Tahiri vd., 2020).

Termal turizm işletmelerinde hizmet kalitesinin önemli bir bölümünü çalışanlarla müşteriler arasındaki etkileşim oluşturmaktadır. Çalışanların bilgi ve becerileri, güvenilirlikleri, müşterilere yardımcı olmaya hazır oluşları, ihtiyaçlara zamanında yanıt verebilmeleri ve etkili iletişim kurmaları hizmetin ilişkisel boyutunu şekillendirmektedir (Silvestri vd., 2017).

Termal turizm işletmelerinde hizmet kalitesinin sürekliliği, hizmet süreçlerinin belirli standartlar doğrultusunda yürütülmesini de gerektirmektedir. Doğal şifalı ve termal sulardan yararlanan medikal spa işletmelerinde kaliteli hizmet sunumuna yönelik gereklilikleri belirleyen ISO 21426:2018 standardı; tesis ve ekipman, personel, doğal kaynakların kullanımı, bakım, hijyen ve temizlik, hizmet sunumu ile müşteri memnuniyeti gibi alanları kapsamaktadır. Standartta müşteriyle temas eden çalışanların görev profillerinin belirlenmesi, bazı görevlerin nitelikli ve yetkilendirilmiş personel tarafından yürütülmesi, yeni çalışanlara uyum eğitimi verilmesi ve personele hijyen, güvenlik, yabancı dil, müşteri hizmetleri, acil durum ve temel yaşam desteği konularını kapsayan yıllık eğitim programlarının hazırlanması öngörülmektedir. Bu düzenlemeler, termal hizmetlerin yalnızca fiziksel tesis koşullarına değil, personel yeterliliğine ve hizmet süreçlerinin sistematik biçimde yönetilmesine de dayandığını ortaya koymaktadır (ISO, 2018).

Termal turizm işletmelerinde müşteri memnuniyeti; termal kaynağın özellikleri, çevre kalitesi, ulaşım olanakları, yiyecek ve içecek hizmetleri, tesis olanakları ile sunulan hizmetin kalitesinden etkilenmektedir. Bu unsurlar, müşterilerin termal turizm deneyimine ilişkin genel hizmet algısını şekillendirmektedir (Mi vd., 2019).

Termal tesislerde sunulan konaklama, termal uygulama, yiyecek-içecek ve çevresel hizmetlerden duyulan memnuniyet, müşterilerin gelecekteki davranışlarını da etkilemektedir. Termal tesis kullanıcıları üzerinde gerçekleştirilen araştırmalarda, memnuniyet düzeyi yüksek olan müşterilerin işletmeyi başkalarına tavsiye etme ve yeniden ziyaret etme eğilimlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle hizmet kalitesi, yalnızca mevcut hizmet deneyiminin değerlendirilmesinde değil, müşteri sadakatının geliştirilmesi ve tekrar ziyaret niyetinin oluşturulmasında önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Anaya-Aguilar vd., 2021; Wisitnorapatt & Sirirat, 2023).

1.2 Pazarlama ve Marka Yönetimi

Termal turizm işletmelerinde rekabet gücünün artırılmasında pazarlama ve marka yönetimi önemli bir role sahiptir. Artan ulusal ve uluslararası rekabet koşullarında işletmelerin yalnızca kaliteli hizmet sunmaları yeterli olmamakta; aynı zamanda hedef pazarlara etkili biçimde ulaşmaları, kendilerini rakiplerinden farklılaştırmaları ve güçlü bir marka algısı oluşturmaları gerekmektedir (Pippirs & Steckenbauer, 2022).

Pazarlama, işletmelerin hedef pazarların ihtiyaç ve beklentilerini belirleyerek uygun hizmetleri geliştirmesi, bu hizmetleri doğru hedef kitleye ulaştırması ve müşterilerle uzun dönemli ilişkiler kurmasını sağlayan stratejik bir yönetim süreci olarak değerlendirilmektedir (Bude, 2022). Marka yönetimi ise işletmenin ayırt edici özelliklerinin ve değer önerisinin hedef pazarlara tutarlı biçimde aktarılmasını sağlayarak güvenilir bir kurumsal kimlik oluşturmaya, destinasyonun tanınırlığını artırmasına ve rekabet avantajı elde etmesine katkı sağlamaktadır (Šajinović, 2016). Özellikle termal turizm destinasyonlarında markalaşma; doğal kaynakların, sağlık odaklı hizmetlerin ve destinasyon kimliğinin ön plana çıkarılmasıyla yakından ilişkilidir. Güçlü bir destinasyon markası, termal turizm işletmelerinin pazardaki konumunu güçlendirmekte, hedef pazarlarda farkındalık oluşturmakta ve sürdürülebilir rekabet üstünlüğü elde edilmesini desteklemektedir (Sousa & Barros, 2021; Pippirs & Steckenbauer, 2022). Teknolojik gelişmeler ve dijitalleşme süreciyle birlikte pazarlama ve marka yönetimi faaliyetlerinin önemli bir bölümü dijital platformlar üzerinden yürütülmeye başlanmıştır.

Dijital pazarlama, termal turizm işletmelerinin ulusal ve uluslararası pazarlarda görünürlüğünü artıran, mevcut ve potansiyel müşterilerle doğrudan iletişim kurmasını sağlayan pazarlama stratejilerinin önemli bileşenlerinden biridir. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte işletmeler; web siteleri, sosyal medya platformları, mobil uygulamalar ve diğer dijital iletişim kanalları aracılığıyla hizmetlerini daha geniş hedef kitlelere ulaştırabilmekte, müşterileriyle çift yönlü iletişim kurabilmekte ve pazarlama faaliyetlerini daha etkin biçimde yürütebilmektedir (Tengilimoğlu vd., 2018).

Türkiye’de faaliyet gösteren termal otellerin dijital pazarlama uygulamalarını inceleyen araştırmalarda, işletmelerin dijital platformlarda en başarılı oldukları alanların sundukları hizmetlere ilişkin bilgi paylaşımı olduğu; buna karşılık satış geliştirme araçları, yabancı dil seçenekleri, mobil uygulamalar ve uluslararası hedef pazarlara yönelik dijital içeriklerde önemli eksiklikler bulunduğu belirlenmiştir. Araştırma bulguları, dijital pazarlama faaliyetlerinin yalnızca çevrimiçi görünürlüğü artırmakla sınırlı kalmadığını, aynı zamanda uluslararası pazarlara erişim, hedef pazarlara yönelik tanıtım ve rekabet gücünün geliştirilmesi açısından da önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Gençer & Ceylan, 2023).

SPA ve termal turizm ürünlerinin pazarlanmasında dijital teknolojiler; sağlık hizmeti sunan kuruluşlar, konaklama işletmeleri ve seyahat organizasyonları arasında iş birliğini desteklemekte, ürün ve hizmetlerin çevrimiçi tanıtımını kolaylaştırmakta ve doğrudan satış olanaklarını artırmaktadır. Bunun yanında dijital pazarlama uygulamaları, termal turizm ürünlerinin sahip olduğu sağlık yararlarının hedef kitlelere daha etkili biçimde aktarılmasına ve tüketicilerin karar verme sürecinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır (Ianina, 2020).

Son yıllarda dijital reklamcılık ve sosyal medya uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte dijital pazarlama iletişimi, termal turizm işletmelerinin tanıtım stratejilerinin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Özellikle sosyal medya platformlarında yürütülen dijital reklam faaliyetleri, potansiyel müşterilerin destinasyon ve işletme tercihlerini etkileyebilmekte, marka algısının güçlendirilmesine katkı sağlamakta ve müşteri etkileşimini artırmaktadır (Chergui & Zahaf, 2026).

Termal turizm işletmelerinin rekabet gücünün artırılmasında destinasyon ve işletme markası önemli bir rol oynamaktadır. Destinasyon markası, destinasyonun pazarda rakiplerinden farklılaştırılmasını sağlayan ve hedef pazarlarda konumlandırılmasına katkıda bulunan temel araçlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Šajinović, 2016). Termal turizm destinasyonlarında markalaşma, yalnızca görsel unsurların oluşturulmasını değil; destinasyona özgü değerlerin belirlenmesini, bu değerlerin tutarlı biçimde ziyaretçilere aktarılmasını ve destinasyonun rakiplerinden ayırt edilebilir bir kimlik kazanmasını kapsamaktadır. Bu doğrultuda markalaşmanın temel amacı, destinasyonun tanınabilirliğini artırmak, ziyaretçilerin destinasyonla özdeşleşmesini sağlamak ve rekabetçi pazarda güçlü bir konum elde etmektir. Spa ve termal destinasyonlarda başarılı bir markalaşma süreci; ortak değerlerin oluşturulması, paydaşlar arasında iş birliğinin geliştirilmesi ve markanın destinasyon genelinde benimsenmesini gerektirmektedir. Markalaşmanın sürekli gelişen bir süreç olduğu, değişen pazar koşullarına uyum sağlayacak biçimde güncellenmesi gerektiği ve hem ulusal hem de uluslararası pazarlarda rekabet gücünün korunmasına katkı sağladığı belirtilmektedir (Pippirs & Steckenbauer, 2022).

1.3 Fiziksel Altyapı ve Doğal Kaynaklar

Termal turizm işletmelerinin ve destinasyonlarının rekabet gücünün oluşumunda doğal termal kaynaklar en temel çekicilik unsurlarından biridir. Termal ve mineral suların varlığı, niteliği ve çeşitliliği destinasyonun ürün geliştirme kapasitesini artırırken, pazarda farklılaşmasına ve sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmesine katkı sağlamaktadır (Lee & King, 2006; Erbaş & Şahin Perçin, 2015). Termal kaynaklar yalnızca sağlık amaçlı ziyaretlerin temel motivasyonunu oluşturmakla kalmamakta; aynı zamanda destinasyonun özgün kimliğinin oluşmasına, turistik çekiciliğinin artmasına ve rakip destinasyonlardan ayrışmasına da katkı sağlamaktadır (Lee & King, 2006).

Doğal termal kaynakların rekabet gücüne katkısı yalnızca bu kaynakların varlığına değil, aynı zamanda suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine, kullanım kapasitesine ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesine de bağlıdır. Termal suyun sıcaklığı, mineral içeriği, debisi ve tedavi edici özellikleri destinasyonun hizmet çeşitliliğini ve ziyaretçilere sunacağı deneyimin niteliğini doğrudan etkilemektedir (Lee & King, 2009). Bununla birlikte, termal kaynakların bilinçsiz kullanımı, plansız sondaj faaliyetleri ve yetersiz kaynak yönetimi, doğal kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit ederek uzun vadede destinasyonun rekabet gücünü olumsuz etkileyebilmektedir (Gül & Gül, 2016). Nitekim termal su kaynaklarının etkin biçimde korunması, düzenli kalite kontrollerinin gerçekleştirilmesi, kullanımın denetlenmesi ve su dağıtım sistemlerinin sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda planlanması hem doğal

kaynakların devamlılığını sağlamakta hem de ziyaretçilere sunulan hizmet kalitesini artırmaktadır (Erbaş & Şahin Perçin, 2015).

Termal turizmde rekabet üstünlüğünün sürdürülebilir biçimde sağlanabilmesi, doğal kaynakların nitelikli bir fiziksel altyapı ile bütünleştirilmesini gerektirmektedir. Konaklama tesisleri, termal havuzlar, tedavi ve rehabilitasyon üniteleri, SPA ve wellness alanları, rekreasyon olanakları ile destekleyici sosyal donatılar, ziyaretçilerin destinasyondan algıladıkları hizmet değerini artıran temel altyapı unsurlarını oluşturmaktadır (Lee & King, 2006; Lee & King, 2009). Buna paralel olarak, termal destinasyonlarda altyapı kalitesinin yalnızca tesislerin fiziksel özellikleriyle sınırlı olmadığı; ulaşılabilirlik, hizmet çeşitliliği, finansal yeterlilik ve genel destinasyon altyapısıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Nitekim gelişmiş termal destinasyonlarda doğal kaynaklar temel çekicilik unsuru olmayı sürdürürken, rekabet avantajının sürdürülebilirliği büyük ölçüde bu kaynakları destekleyen modern tesisler, yüksek hizmet standartları ve güçlü altyapı yatırımlarıyla mümkün olabilmektedir (Blanco-Cerradelo vd., 2022).

Termal turizm destinasyonlarının rekabet gücünü belirleyen temel fiziksel altyapı unsurlarından biri, ulaşılabilirlik ve konumsal avantajdır. Gelişmiş ulaşım altyapısı, ziyaretçilerin termal tesislere güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşmasını sağlayarak destinasyonun erişilebilirliğini artırmakta ve rekabet gücünü desteklemektedir. Karayolu, havayolu ve yerel ulaşım ağlarının yeterliliği, yönlendirme sistemleri ve otopark gibi destekleyici ulaşım hizmetleri, destinasyonun erişilebilirliğini artıran ve rekabet gücünü destekleyen temel fiziksel altyapı bileşenleri arasında yer almaktadır (Erbaş & Şahin Perçin, 2015). Ayrıca büyük şehirlere yakın konumda bulunması ve gelişmiş ulaşım olanakları, termal destinasyonların erişilebilirliğini artırarak pazar konumunu güçlendirmektedir (Lee & King, 2006).

Termal turizm işletmelerinde rekabet avantajının sürdürülebilirliği, modern sağlık ve SPA donanımlarına sahip olunmasının yanı sıra bu donanımların uluslararası kalite ve hijyen standartlarına uygun şekilde işletilmesine de bağlıdır. Termal havuzlar, terapi havuzları, hidroterapi üniteleri, sauna, buhar odaları ve benzeri sağlık uygulamalarına yönelik altyapının yeterliliği, ziyaretçilere sunulan hizmetlerin niteliğini artıran önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Gül & Gül, 2016). Bunun yanında, SPA ekipmanlarının hijyen standartlarına uygunluğu, termal suyun düzenli kalite kontrollerinin yapılması, teknik altyapının etkin biçimde yönetilmesi ve tesislerin uluslararası standartlara uygun şekilde planlanması, termal turizm işletmelerinin rekabet gücünü destekleyen temel faktörler arasında değerlendirilmektedir (Erbaş & Şahin Perçin, 2015). Böylece doğal kaynakların nitelikli fiziksel altyapı, çağdaş sağlık ve SPA donanımları ile bütünleştirilmesi, ziyaretçilere sunulan hizmet kalitesini artırmakta ve termal turizm işletmelerine sürdürülebilir bir rekabet avantajı kazandırmaktadır.

1.4 Sürdürülebilirlik ve Yenilikçilik

Sürdürülebilirlik ve yenilikçilik, termal turizm işletmelerinin uzun dönemli rekabet gücünü destekleyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Sürdürülebilirlik; çevresel kaynakların korunması, enerji ve su kullanımının azaltılması ve işletme faaliyetlerinin çevresel etkilerinin sınırlandırılması gibi uygulamalar aracılığıyla ekonomik, çevresel ve sosyal sorumlulukların birlikte gözetilmesini ifade etmektedir (Font vd., 2016). Yenilikçilik ise yeni ya da geliştirilmiş ürün, hizmet ve süreçlerin oluşturulmasının yanı sıra yönetim ve pazarlama uygulamalarındaki değişimleri de kapsayan çok boyutlu bir yapı göstermektedir (Hjalager, 2010). Bu yönüyle sürdürülebilirlik ve yenilikçilik, termal turizm işletmelerinin değişen pazar koşullarına uyum sağlamalarına, çevresel performanslarını geliştirmelerine ve sürdürülebilir rekabet avantajı elde

etmelerine katkı sağlayan birbirini tamamlayan stratejik unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Baydeniz & Altın, 2025).

Termal turizm işletmelerinde çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunmasının ötesinde, işletme faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik uygulamaların bütünüdür. Su ve enerji tasarrufuna yönelik uygulamalar, atık yönetimi, yerel kaynakların etkin kullanımı ve çevresel sorumluluk anlayışı, işletmelerin sürdürülebilirlik performansını güçlendiren temel uygulamalar arasında yer almaktadır (Font vd., 2016). Çevre dostu uygulamaların işletme stratejilerine entegre edilmesi yalnızca doğal çevrenin korunmasına katkı sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda çevresel performansı geliştirerek işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmelerini de desteklemektedir (Baydeniz & Altın, 2025).

Termal turizm işletmelerinde yenilikçilik, değişen ziyaretçi beklentilerine uyum sağlayabilmek amacıyla hizmetlerin ve işletme süreçlerinin sürekli geliştirilmesini ifade etmektedir. Bu doğrultuda yenilikçilik; yeni veya geliştirilmiş ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi, işletmelerin yenilik kapasitesinin artırılması ve destinasyonun gelişimini destekleyen uygulamaların benimsenmesiyle somutlaşmaktadır. Böylece yenilikçilik, termal turizm işletmelerinin hizmetlerini farklılaştırmalarına, değişen pazar koşullarına daha hızlı uyum sağlamalarına ve uzun dönemli gelişimlerini desteklemelerine katkı sağlayan önemli bir rekabet unsuru olarak değerlendirilmektedir (Carballo-Cruz vd., 2024).

Termal turizm işletmelerinde dijitalleşme, dijital teknolojilerin işletme faaliyetlerine entegre edilmesiyle hizmet sunumunun geliştirilmesini, operasyonel süreçlerin iyileştirilmesini ve ziyaretçi deneyiminin zenginleştirilmesini ifade etmektedir (Bekele & Raj, 2025). Bu kapsamda e-sağlık uygulamaları, dijital hizmetler ve süreç inovasyonları, işletmelerin hizmet kalitesini artırmalarına, ziyaretçi beklentilerine daha hızlı yanıt vermelerine ve hizmet süreçlerini daha etkin yönetmelerine katkı sağlamaktadır (Pınar & Altın, 2024). Bunun yanında yapay zekâ, nesnelerin interneti, hizmet otomasyonu ve diğer akıllı teknolojilerin işletme süreçlerine entegre edilmesi; kaynak kullanımının optimize edilmesini, operasyonel verimliliğin artırılmasını ve sürdürülebilir rekabet gücünün desteklenmesini mümkün kılmaktadır (Israni & Hanrahan, 2026).

Sonuç ve Değerlendirme

Literatür birlikte değerlendirildiğinde, termal turizm işletmelerinin rekabet gücünün tek bir faktörden değil, birbirini tamamlayan çok boyutlu unsurlardan etkilendiği görülmektedir. İncelenen çalışmalar; hizmet kalitesi, pazarlama ve marka yönetimi, fiziksel altyapı ve doğal kaynaklar ile sürdürülebilirlik ve yenilikçilik uygulamalarının, termal turizm işletmelerinin rekabet gücünü belirleyen temel faktörler arasında yer aldığını ortaya koymaktadır. Bu faktörlerin her biri işletmelerin hizmet kalitesini geliştirmesine, değişen ziyaretçi beklentilerine uyum sağlamasına ve pazarda farklılaşmasına katkıda bulunurken, birlikte ele alındığında uzun dönemli rekabet üstünlüğünün oluşturulmasına daha güçlü katkılar sağlamaktadır.

Bu doğrultuda, termal turizm işletmelerinin rekabet güçlerini artırabilmeleri için hizmet kalitesini sürekli geliştirmeleri, çalışanların mesleki yetkinliklerini desteklemeleri ve fiziksel altyapılarını değişen ziyaretçi beklentilerine uygun şekilde iyileştirmeleri önem taşımaktadır. Doğal kaynakların koruma-kullanma dengesi gözetilerek yönetilmesi ve sürdürülebilirlik uygulamalarının işletme stratejilerine entegre edilmesi, işletmelerin uzun dönemli başarısını destekleyecek temel uygulamalar arasında yer almaktadır. Ayrıca dijital dönüşüme yatırım yapılması, ziyaretçi geri bildirimlerinin hizmet geliştirme süreçlerinde etkin biçimde değerlendirilmesi ve yenilikçi hizmet uygulamalarının yaygınlaştırılması, işletmelerin değişen

pazar koşullarına daha hızlı uyum sağlamalarına ve rakiplerinden farklılaşmalarına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, termal turizm işletmelerinin rekabet gücünü etkileyen temel faktörleri literatür çerçevesinde değerlendirmiştir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, bu çalışmada ele alınan faktörlerin nicel ve nitel araştırma yöntemleriyle ampirik olarak test edilmesi literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca farklı destinasyonlarda faaliyet gösteren termal turizm işletmelerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, rekabet gücünü etkileyen faktörlerin bölgesel farklılıklar açısından değerlendirilmesine olanak sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Anaya-Aguilar, R., Gemar, G., & Anaya-Aguilar, C. (2021). Factors associated with spa tourists' satisfaction. *Mathematics*, 9(4), 332. <https://doi.org/10.3390/math9040332>.
- Baum, T. (2007). Human resources in tourism: Still waiting for change? *Tourism Management*, 28, 1383–1399.
- Baydeniz, E. & Altin, M. (2025). How thermal hotels can leverage sustainability for competitive advantage. *Management Decision*, 63(12), 4217–4243. <https://doi.org/10.1108/MD-06-2024-1301>.
- Bekele, H., & Raj, S. (2025). Digitalization and digital transformation in the tourism industry: A bibliometric review and research agenda. *Tourism Review*, 80 (4), 894–913. <https://doi.org/10.1108/TR-07-2023-0509>.
- Blanco-Cerradelo, L., Diéguez-Castrillón, M. I., Gueimonde-Canto, A., & Rodríguez-López, N. (2022). Sustainable thermal tourism destination competitiveness: A multistakeholder perspective. *Journal of Tourism Analysis*, 29(1), 1–19.
- Bude, F.A. (2022). Promotional strategies in the tourism industry. Analyse study: Deta thermal spa. *Brand. Broad Research in Accounting, Negotiation, and Distribution*, 13(1), 7–15.
- Carballo-Cruz, E., Maroto-Martos, J. C., & Pinos-Navarrete, A. (2024). Overview of touristic innovation in Spain spa tourism. *International Journal of Spa and Wellness*, 7(3), 320–340. <https://doi.org/10.1080/24721735.2024.2406173>
- Chergui, K.A., & Zahaf, S. (2026). The role of digital advertisements in enhancing digital marketing communication strategies for thermal hospitality tourism a case study of hotelier- tourism and hammam groupe. *ASJP-Algerian Scientific Journal Platform*, 23(1), 285–312.
- Tengilimoğlu, D., Güzel, A., Aykan, C., Tengilimoğlu, E. & Boduroğlu, E. (2018). The evaluation of the digital marketing activities of thermal facilities and JCI accredited hospitals in terms of health tourism. *International Journal of Health Management And Tourism*, 3(2), 108–121.
- Erbaş, E., & Şahin Perçin, N. (2015). Competitive Importance Performance Analysis (CIPA): An illustration from thermal tourism destinations. *Business and Economics Research Journal*, 6(4), 137–154.
- Font, X., Garay, L., & Jones, S. (2016). Sustainability motivations and practices in small tourism enterprises in European protected areas. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1439–1448.
- Gençer, K., & Ceylan, U. (2023). Examination of digital marketing performances of thermal hotels: the case of Türkiye. *Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel*, 6(1), 1–9
- Grönroos, C. (1984). A service quality model and its marketing implications. *European Journal of Marketing*, 18(4), 36–44.
- Gül, M., & Gül, K. (2016). Innovative planning in thermal tourism destinations: Balıkesir–Güre thermal tourism destination case study. Ed. C. Avcıkurt, M.S. Dinu, N. Hacıoğlu, R. Efe, A. Soykan, N. Tetik. *In Global Issues and Trends in Tourism*. Sofia: St. Kliment Ohridski University Press.
- Hjalager, A-M. (2010). Progress in tourism management: A review of innovation research in tourism. *Tourism Management*, 31, 1–12.
- Ianina, V. (2020). Digital marketing in the SPA-resort product promoting. *E3S Web of Conferences*, 164, 09037.

- ISO (2018). *ISO 21426:2018 Tourism and related services—Medical spas—Service requirements*. International Organization for Standardization.
- Israni, N., & Hanrahan, J. (2026). Energy reduction technologies as catalysts for digital transformation and sustainable operations: Evidence from the hotel industry. *Turyzm/Tourism*, 36(1), 169–186. <https://doi.org/10.18778/0867-5856.2026.13>
- Lee, C.-F., & King, B. (2006). Assessing destination competitiveness: An application to the hot springs tourism sector. *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 3(3), 179–197. <https://doi.org/10.1080/14790530601132328>
- Lee, C.-F., & King, B. (2009). A determination of destination competitiveness for Taiwan's hot springs tourism sector using the Delphi technique. *Journal of Vacation Marketing*, 15(3), 243–257. <https://doi.org/10.1177/1356766709104270>
- Marković, S., & Raspor, S. (2010). *Measuring perceived service quality using SERVQUAL: A case study of the Croatian hotel industry*. *Management*, 5(3), 195–209.
- Mi, C., Chen, Y., Cheng, C.-S., Uwanyirigira, J. L., & Lin, C.-T. (2019). Exploring the determinants of hot spring tourism customer satisfaction: Causal relationships analysis using ISM. *Sustainability*, 11(9), 2613. <https://doi.org/10.3390/su11092613>
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, 64(1), 12–40.
- Pirnar, I. & Altın, H. O. (2024). Systematic literature review of health tourism innovation. *Pasos. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 22(2), 383–398.
- Pippirs, C., & Steckenbauer, G. C. (2022). Case study – Spa destination branding – A strategic realignment process of five Bavarian thermal spas. *International Journal of Spa and Wellness*, 5(3), 308–319. <https://doi.org/10.1080/24721735.2022.2117009>
- Quintela, J. A., Correia, A. G., & Antunes, J. G. (2011). Service quality in health and wellness tourism: Trends in Portugal. *International Journal of Business, Management and Social Sciences*, 2(3), 1–8.
- Šajinović, S. (2016). Tourist destination branding in function of market positioning and increased competitiveness of spa tourism. *Proceedings of the Faculty of Economics in East Sarajevo*, 13, 29–40.
- Silvestri, C., Aquilani, B., & Ruggieri, A. (2017). Service quality and customer satisfaction in thermal tourism. *The TQM Journal*, 29(1), 55–81. <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2015-0089>
- Sousa, B. B., & Barros, C. (2021). Encouraging relational marketing in the wellness and thermalism segments. *Економічний вісник НТУУ Київський політехнічний інститут*, 18, 98–102. <https://doi.org/10.20535/2307-5651.18.2021.240453>.
- Tahiri, A., Kovači, I., Thaqi, A., Goga, A.J. (2020). Effects of human resource management on health tourism in thermal centers in Kosovo case study: Centre's of thermal tourism in Kosovo, *Acta Universitatis Danubius*, 16(3), 248–259.
- Wisitnorapatt, S., & Sirirat, P. (2023). Measuring customers' satisfaction and loyalty in Thai wellness spas. *International Journal of Spa and Wellness*, 6(2) 221–238.

ALMAN MEDENÎ USUL HUKUKUNDA ONLINE-VERFAHREN: DİJİTAL YARGILAMA İÇİN PİLOT USUL MODELİ VE TÜRK HUKUKU BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Vedat ÇALIŞKAN

Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Özel Hukuk Anabilim Dalı Doktora Programı
(Medeni Usul ve İcra-İflas Hukuku), Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5853-2806

ÖZET

Türk medeni yargılamasında dijitalleşme uzun süredir UYAP, elektronik tebligat ve e-Duruşma üzerinden gelişmektedir. Almanya’da 22 Aralık 2025 tarihli Kanunla Zivilprozessordnung’a eklenen §§ 1121 vd. ise mevcut usul işlemlerinin elektronik araçlarla yürütülmesinin ötesine geçerek, belirli para alacağı davalarında ayrı bir çevrim içi usulün sınırlı mahkemelerde denenmesini öngörmektedir. Düzenleme; dijital başvuru sistemlerini, dava malzemesinin yapılandırılmasını, platform temelli iletişimi, uygun hâllerde duruşmasız karar verilmesini ve delilin dijital iletişim araçlarıyla alınmasına ilişkin esnek yöntemleri aynı usul akışı içinde birleştirmektedir. Bunun yanında sistemin iki, dört ve sekiz yıllık dönemlerde değerlendirilmesi zorunludur. Çalışmada Alman Online-Verfahren’ın bu özellikleri incelenmekte ve modelin Türk medeni usul hukuku bakımından taşıdığı anlam değerlendirilmektedir. Türkiye’de e-Duruşmanın ülke çapında yaygınlaşması, 2025–2029 Yargı Reformu Stratejisi’nde dijital çözüm platformları ile çevrim içi uyuşmazlık çözüm yöntemlerinin açıkça hedeflenmesi ve bu alanda oluşan akademik birikim, sınırlı ve ölçülebilir bir pilot uygulamanın tartışılabilmesi için elverişli bir zemin oluşturmaktadır. Bununla birlikte Alman modelinin uygulama alanının veya teknik mimarisinin doğrudan aktarılması uygun değildir. Türk hukuku bakımından daha isabetli çözüm; mevcut mahkemeler ve UYAP içinde, kapsamı kanunla sınırlandırılmış, gerçek kişiler bakımından ihtiyarî, dijital olmayan erişim yollarını koruyan ve sonuçları önceden belirlenmiş ölçütlerle değerlendirilen sınırlı bir pilot usulün denenmesidir. Alman düzenlemesinin asıl değeri, hazır bir usul şablonu sunmasından çok, dijital usul reformunu uygulama verisiyle sınayan yönteminde görülmelidir. Bu yaklaşım, dijital usul reformunun kontrollü, ölçülebilir ve gerektiğinde geri döndürülebilir biçimde geliştirilmesine ve usul güvenceleri ile teknolojik esnekliğin birlikte korunmasına hizmet edebilir.

Anahtar Kelimeler: Çevrim içi yargılama, medeni usul hukuku, dijital yargı, pilot uygulama, adalete erişim

THE GERMAN ONLINE-VERFAHREN IN CIVIL PROCEDURE: A PILOT PROCEDURAL MODEL FOR DIGITAL LITIGATION AND ITS RELEVANCE FOR TURKISH LAW

ABSTRACT

Digitalisation in Turkish civil justice has developed primarily through UYAP, electronic service and remote hearings. Germany’s Act of 22 December 2025, which introduced §§ 1121 et seq. into the Code of Civil Procedure (ZPO), takes a further step by providing a statutory framework for testing a distinct online procedure in selected courts and monetary claims. The model combines digital filing systems, structured presentation of the dispute, platform-based communication, decisions without an oral hearing in suitable cases and flexible digital methods

of taking evidence. It is also subject to mandatory evaluations after two, four and eight years. This paper examines these features of the German Online-Verfahren and assesses their relevance for Turkish civil procedure. Türkiye already has a substantial digital infrastructure: e-hearings are widely used, and the 2025–2029 Judicial Reform Strategy expressly calls for digital solution platforms, online dispute-resolution methods and further development of electronic hearings. Nevertheless, the German model should not be transplanted mechanically. Its scope, institutional setting and technical architecture reflect the specific structure of German civil justice. For Turkish law, a more suitable approach would be a limited pilot procedural model within existing courts and UYAP, established by statute, optional at least for natural persons, preserving non-digital access and subject to predefined evaluation criteria. The principal lesson of the German reform therefore lies not in copying its procedural details, but in testing digital procedural innovations in a controlled, measurable and reversible manner before considering their generalisation.

Keywords: Online procedure, civil procedure, digital justice, pilot scheme, access to justice

GİRİŞ

Medenî yargılamanın dijitalleşmesi, bir dilekçenin elektronik ortamdan gönderilmesi veya duruşmaya görüntülü bağlantıyla katılma imkânının sağlanmasıyla sınırlı değildir. Bu araçlar mevcut usulün işleyişini kolaylaştırır. Ancak dava malzemesinin nasıl toplanacağı, tarafların mahkemeye hangi kanaldan iletişim kuracağı, hangi uyuşmazlıklarda duruşmanın gerekli olduğu ve teknolojinin hâkimin dava yönetimine ne ölçüde dâhil edileceği gibi daha temel sorulara tek başına cevap vermez. Bu nedenle dijitalleşmenin medeni usul hukukundaki asıl tartışma alanı, mevcut işlemlerin elektronikleştirilmesinden çok, belirli uyuşmazlıklar için yargılama akışının yeniden tasarlanıp tasarlanamayacağıdır.

Türk hukukunda bu tartışmanın önemli bir akademik zemini bulunmaktadır. Çevrim içi yargılama; adalete erişim, usul ekonomisi ve yargılamanın hızlandırılması bakımından incelenmiş (Karabel & Aydemir, 2023), çevrim içi uyuşmazlık çözüm yöntemlerinden hareketle Türk hukuk yargılaması ile UYAP'ın yeniden tasarlanmasına ilişkin kapsamlı öneriler geliştirilmiştir (Mıdık, 2025). Küçük miktarda uyuşmazlıklar için farklılaştırılmış usul düşüncesi de çevrim içi yargılama tartışmasından bağımsız olarak Türk öğretisinde gündeme gelmiştir (Yıldırım & Gül, 2021). Bu birikim karşısında, Türkiye'de çevrim içi yargılamanın mümkün veya gerekli olup olmadığı sorusu tek başına çalışmanın özgün araştırma problemini karşılamamaktadır. Güncel sorun, dijital usul yeniliklerinin hangi normatif ve kurumsal yöntemle denenebileceği, usul güvenceleriyle nasıl sınırlandırılacağı ve uygulama sonuçlarının hangi ölçütlerle değerlendirileceğidir.

Burada çevrim içi uyuşmazlık çözümü (online dispute resolution-ODR) ile çevrim içi yargılama kavramlarının birbirinden ayrılması gerekir. ODR; müzakere, arabuluculuk ve platform temelli yargı dışı veya hibrit çözüm yollarını da kapsayabilen geniş bir üst kavramdır. Alman Online-Verfahren ise ZPO içinde düzenlenen, devlet mahkemesince yürütülen ve yargısal kararlar sonucunda bir medeni yargılama usulüdür. Bu nedenle Alman reformunun karşılaştırmalı önemi, ODR araçlarının mahkemeye taşınmasından ziyade yargısal usulün kendi içinde dijital olarak yeniden yapılandırılmasında görülmelidir.

Alman hukukundaki 2025 reformu ise tartışmayı başka bir noktaya taşımaktadır. 22 Aralık 2025 tarihli ve 23 Aralık 2025'te yürürlüğe giren Gesetz zur Entwicklung und Erprobung eines Online-Verfahrens in der Zivilgerichtsbarkeit ile ZPO'ya eklenen 12. Kitap, başlığında dahi "Erprobung und Evaluierung", yani deneme ve değerlendirme yaklaşımını benimsemektedir.

ZPO § 1121'e göre amaç, yeni dijital teknolojilerin, iletişim biçimlerinin ve yeni yargılama akışlarının uygulamada denenmesi ve bunların ileride kalıcı olarak düzenlenip düzenlenmeyeceğinin görülmesidir. Bu çalışmada kullanılan “pilot” ifadesi, Erprobung kavramının birebir çevirisi olarak değil, yeniliklerin sınırlı bir uygulama alanında denenmesini anlatan işlevsel bir karşılık olarak tercih edilmiştir.

Reformun deneysel niteliği Alman öğretisinde kanunlaşma öncesinden itibaren tartışılmıştır. Herberger (2024), Online-Verfahren'ı daha tasarı aşamasında bir “Reallabor” perspektifinden ele alarak gerçek uygulama koşullarında deneme yoluyla düzenleyici öğrenme imkânını öne çıkarmıştır. Kanunun yürürlüğe girmesinden sonra Meller-Hannich (2026), Online-Verfahren'ı dijital medeni yargılama bakımından gerçek uyumsuzluklar üzerinde çalışan bir “Reallabor” olarak değerlendirmekte ve erişimi kolaylaştırma, dava malzemesini yapılandırma ve yargılamayı hızlandırma potansiyelinin yanında sistemin pratik sınırlarını da tartışmaktadır. Riehm (2026), yeni usulün gelecekte genel medeni yargılama için örnek oluşturup oluşturamayacağını sorgularken Mielke ve Wolff (2026) düzenlemenin medeni usul bakımından gerçek bir dönüşüm yaratma kapasitesini incelemektedir. Beck (2026) kanunlaşan rejimin gelişim ve deneme mantığını güncel ZPO hükümleri üzerinden değerlendirirken, Zwickel (2026) yeni usulün Alman hukukunda küçük miktarlı uyumsuzluklar bakımından ayrı bir “small claims” yolu oluşturup oluşturmadığını tartışmaktadır. Bu literatürün ortak noktası, yeniliğin yalnızca “çevrim içi duruşma” olmadığını kabul etmesidir.

Bu bildirinin amacı yeni On İkinci Kitabın tamamını ayrıntılı bir şerh konusu yapmak değildir. Çalışma, Online-Verfahren'ın esas çerçevesini oluşturan ZPO §§ 1121–1134 hükümlerine odaklanmakta ve karşılaştırmalı-normatif bir yöntemle üç soruyu incelemektedir. Bunlardan birincisi Alman Online-Verfahren hangi özellikleriyle klasik e-duruşmadan ayrıldığı, pilot ve değerlendirmeye dayalı reform yöntemi neden önemli olduğudur. Sonuncusu ise bu yaklaşım Türk medeni usul hukukunda hangi koşullarla anlamlı olabilir? Karşılaştırma, Alman düzenlemesindeki kurumların Türk hukukuna biçimsel olarak aktarılmasından ziyade, bu kurumların yerine getirdiği işlevler esas alınarak yapılmakta ve Türk hukuku bakımından değerlendirme ise kurumsal uyum, temel usul güvenceleri, erişilebilirlik ve pilot sonuçlarının ölçülebilirliği ölçütlerine dayandırılmaktadır. Çalışmanın temel tezi, Alman sisteminin Türk hukukuna aynen aktarılmasının ne gerekli ne de uygun olduğu yönündedir. Buna karşılık sınırlı uygulama, ölçülebilirlik ve sonuçlara göre yeniden düzenleme esasına dayanan reform yönteminin Türkiye'deki dijital yargı hedefleri bakımından dikkate alınabileceğidir. Bu çerçevede çalışmanın özgün katkısı, Türkiye'de çevrim içi yargılamanın mümkün olup olmadığını yeniden tartışmak değil; Alman düzenlemesindeki Erprobung und Evaluierung yaklaşımını bağımsız bir usul reformu yöntemi olarak çözümleyerek Türk hukuku için kanunî dayanak, sınırlı uygulama, erişilebilirlik, ölçülebilirlik ve geri döndürülebilirlik unsurlarından oluşan bir pilot tasarım çerçevesi önermektir.

1. ALMAN ONLINE-VERFAHREN'IN NORMATİF YAPISI VE PİLOT NİTELİĞİ

ZPO § 1122, Online-Verfahren'ı genel medeni yargılamanın yerine geçen zorunlu bir yol olarak değil, hak arayanlara diğer ZPO usullerinin yanında sunulan bir alternatif olarak düzenlemektedir. Uygulama alanı, Amtsgericht önünde görülen ve konusu para ödemesine ilişkin olup § 23 Nr. 1 GVG'deki parasal sınırı aşmayan hukuk davalarıyla sınırlıdır. Güncel § 23 Nr. 1 GVG uyarınca bu sınır 10.000 Euro'dur. Uyumsuzluğun sonradan bu kapsamda olmadığı anlaşılırsa dava sona ermez. Olağan usulde görülmeye devam edilir. Bu özellik, çevrim içi yolun mahkemeye erişimi daraltan bir ön şart değil, belirli davalar bakımından

denenmek üzere açılmış alternatif bir usul olduğunu göstermektedir (Bundesrepublik Deutschland, 2025).

Pilotun adalete erişim boyutu yalnız başvuru biçimiyle sınırlı değildir. Gerichtskostengesetz (GKG) gider tarifesinde Amtsgericht veya Landgericht önündeki olağan ilk derece hukuk davası için KV Nr. 1210 uyarınca 3,0 olan genel harç katsayısına karşılık, Online-Verfahren için KV Nr. 1216'da 2,0 katsayısı öngörülmüştür; KV Nr. 1217'de sayılan belirli erken sona erme hâllerinde bu oran 1,0'a düşmektedir. Böylece ekonomik erişim maliyeti de pilot usulün tasarım unsurlarından biri hâline getirilmiştir (GKG KV Nr. 1210, 1216-1217).

Pilotun hangi Amtsgericht'lerde yürütüleceği eyalet düzenlemeleriyle belirlenmektedir. Federal DigitalService'in verdiği bilgilere göre uygulama 15 Nisan 2026'dan itibaren kademeli olarak başlatılmış ve genel para alacağı davaları ile hava yolcu haklarına ilişkin talepler için çevrim içi hizmetler kullanıma açılmıştır. On eyalette toplam on sekiz Amtsgericht'in farklı tarihlerde ve farklı kapsamlarla pilota katılımının öngörülmüş olması, düzenlemenin yalnız teorik bir deneme hükmü olarak kalmadığını ve gerçek uyuşmazlıklar üzerinde uygulanmaya başladığını göstermektedir (DigitalService des Bundes, 2026a).

Alman kanun koyucusunun tercih ettiği yöntem, yeni usulü doğrudan ülke çapında ve kalıcı biçimde yaygınlaştırmak yerine sınırlı mahkemelerde ve sınırlı uyuşmazlıklarda denemektir. Bundestag Komisyon raporunda da bu yaklaşımın nedeni kullanıcı dostu ve erişilebilir bir dava yolu oluşturmak, mahkemelerin işleyişini yapılandırılmış veri ve teknik araçlarla kolaylaştırmak ve federal adalet sisteminin farklı teknik altyapıları içinde yeni usul akışlarına kontrollü bir alan açmak olarak açıklanmıştır (Deutscher Bundestag, 2025). Bu nedenle Online-Verfahren'ın ayırt edici yönü yalnız dijital araç kullanması değil, usul değişikliğinin kendi içinde gözlem ve geri bildirim üretecek biçimde tasarlanmış olmasıdır.

2. DİJİTAL YARGILAMANIN USUL AKIŞINI DEĞİŞTİREN UNSURLARI

Online-Verfahren'ın klasik e-duruşmadan ayrıldığı ilk nokta, dijitalleşmenin yalnız duruşma aşamasına ilişkin olmayıp dava açılışından itibaren usul akışına yerleştirilmiş olmasıdır. ZPO § 1124, Online-Verfahren'ın dijital giriş sistemleri ve güvenli elektronik iletişim yolları kullanılarak başlatılmasını düzenlemekte; § 1125 ise bu giriş sistemlerinin federal ve eyaletlerin ortak adalet portalı üzerinden erişilebilir, kullanıcı dostu, basit ve sezgisel biçimde sunulmasını öngörmektedir. Ayrıca belirli şartlarda başvuru ve beyanların yapılandırılmış veri seti olarak aktarılabilmesine imkân tanınmıştır. Böylece dijitalleşme, kâğıt biçiminde hazırlanmış bir dilekçenin yalnızca elektronik ortamda gönderilmesinden farklı olarak, dava malzemesinin daha baştan sistematik ve işlenebilir biçimde oluşturulmasına yönelmektedir.

İkinci yenilik, ZPO § 1126'daki dijital yapılandırmadır. Mahkeme, dava malzemesini düzenlemek amacıyla taraflardan beyanlarını karşılıklı olarak ilişkilendirmelerini veya dijital bir usul belgesini tamamlamalarını isteyebilir. Açıklanması gereken uyuşmazlık noktaları için belirli giriş alanları oluşturabilir. Bu yetki, hâkimin maddi vakıaları tarafların yerine oluşturması anlamına gelmez. Amaç, özellikle benzer ve standartlaşabilir uyuşmazlıklarda çekişmeli ve çekişmesiz noktaların erken aşamada görünür hâle getirilmesidir. Bu özellik, dijital aracın yalnız iletişim kanalı olmaktan çıkarak dava yönetiminin parçası hâline geldiğini göstermektedir.

Üçüncü unsur, sözlü duruşmanın daha esnek düzenlenmesidir. ZPO § 1127, uygun hâllerde mahkemenin sözlü duruşma yapmadan karar verebilmesine izin vermektedir. Mahkeme özellikle delil ikamesinin gerekli olması, tarafların kişisel sözlü açıklamalarına ihtiyaç duyulması veya sulh imkânının değerlendirilmesi hâllerinde duruşma yapar. Taraflardan en az birinin sözlü duruşma talep etmesi de § 1127/1 uyarınca duruşma belirlenmesini gerektiren

hâller arasında sayılmıştır. Bununla birlikte hükmün atf yaptığı 861/2007 sayılı Tüzüğün m. 5/1a hükmü uyarınca, somut olayda sözlü duruşma adil yargılamanın yürütülmesi bakımından gerekli değilse talep gerekçeli biçimde reddedilebilir. Duruşma yapılmasına karar verilirse bunun kural olarak ZPO § 128a uyarınca video duruşması şeklinde gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. Dolayısıyla Online-Verfahren “duruşmasız yargılama” ile özdeş değildir. Duruşmanın gerekliliğini uyuşmazlığın özelliklerine göre daha esnek değerlendiren bir yapı kurmaktadır.

Bu esneklik, sözlülük ilkesi ve adil yargılanma hakkı bakımından ayrıca değerlendirilmelidir. Rühl (2025), AİHM içtihadından hareketle sözlü duruşmanın her medeni uyuşmazlıkta mutlak bir zorunluluk olmadığını ve dosya üzerinden adil biçimde karara bağlanabilen veya sınırlı hukukî meseleler içeren uyuşmazlıklarda yazılı usulün yeterli olabileceğini, buna karşılık mahkemenin taraf hakkında kişisel izlenim edinmesi ya da vakıaların tarafların sözlü açıklamasıyla aydınlatılması gereken durumlarda duruşmadan vazgeçilmemesi gerektiğini belirtmektedir. ZPO § 1127/1’in delil ikamesi, kişisel sözlü açıklama, sulh ihtiyacı ve taraf talebini ayrı ölçütler olarak sayması, duruşmasız karar yetkisinin sınırsız olmadığını göstermektedir (Rühl, 2025).

ZPO § 1127/5 ise dijitalleşmenin yalnız duruşmanın biçimini değil, hâkimin yargılamayı hazırlama faaliyetini de etkileyebileceğini göstermektedir. Hüküm, mahkemeye hazırlayıcı tedbir kapsamında genel erişime açık kaynaklardan bilgi edinme imkânı tanımaktadır. Bu imkân taraflarca ileri sürülmemiş olmakla birlikte ZPO § 291 kapsamında değerlendirilebilecek herkesçe bilinen vakıaları da kapsamaktadır. Buna karşılık mahkeme, kullandığı kaynağı taraflara bildirmek ve elde ettiği bilgiyi tarafların denetleyebileceği biçimde açıklamakla yükümlüdür. Düzenlemenin önemi, dijital bilgiye erişimi sınırsız bir hâkim araştırmasına dönüştürmemesi ve teknik kolaylığı şeffaflık ve tarafların görüş bildirebilmesiyle dengelemesidir.

ZPO § 1127/5’in taraflarca getirilme ilkesiyle ilişkisi Alman tartışmasında da ihtilaflıdır. Hüküm, tarafların ileri sürmediği ancak § 291 kapsamında herkesçe bilinen vakıa olarak değerlendirilebilecek bilgilerin genel erişime açık kaynaklardan edinilmesine izin verdiği için geleneksel Beibringungsgrundsatz’ı belirli ölçüde değiştirmektedir. Rühl (2025), hukukî dinlenilme imkânı korunduğu sürece bu değişikliğin anayasal bakımdan sorun oluşturmadığını savunmaktadır. Bu tartışma, dijital bilgiye erişimin hâkimin araştırma alanını teknik olarak genişletmesinin tek başına taraflarca getirilme ilkesini ortadan kaldırmadığını fakat yetkinin sınırlarının açık kanunî güvencelerle çizilmesi gerektiğini göstermektedir.

Delil bakımından da benzer bir esneklik söz konusudur. ZPO § 1129/1, uygun hâllerde mahkemeye talep üzerine veya re’sen ses aktarımı ya da diğer uygun dijital iletişim araçlarıyla delil alınmasına izin verme veya bunu emretme imkânı tanımaktadır. § 1129/2, karar bakımından önemli vakıaların tanık beyanları ve bilirkişi açıklamalarıyla görüntü ve ses aktarımı, yazılı, elektronik, telefon veya diğer uygun dijital yollar üzerinden belirlenebilmesini; § 1129/3 ise aynı esnekliğin taraf isticvabına uygulanmasını öngörmektedir. Bununla birlikte bütün delil türleri aynı biçimde dijitalleştirilmiş değildir. § 1129/1’in atfıyla ZPO § 284/2’de belge delili bakımından öngörülen sınırlama korunmaktadır. Taraflara delil sonucuna ilişkin görüş bildirme fırsatının tanınması ise zorunludur. Böylece dijital kolaylaştırma, çelişmeli yargılama ve hukukî dinlenilme hakkının yerine geçen bir mekanizma olarak tasarlanmamıştır. ZPO §§ 1131–1133’te düzenlenen iletişim platformu ise sistemin başka bir boyutunu oluşturur. Platform, belgelerin yalnız gönderildiği bir elektronik posta kutusu olarak değil, mahkeme ile tarafların dava verilerine erişebildiği ve belirli içerikleri birlikte işleyebildiği bir çalışma alanı

olarak tasarlanmıştır. Alman DigitalService de platformun belge temelli işleymen yapılandırılmış veriye dayalı işleyme geçişi desteklemesini amaçladığını belirtmektedir (DigitalService des Bundes, 2025). Bununla birlikte Online-Verfahren'ın genel ZPO usullerine alternatif olması, usul başladıktan sonra bütün dijital araçların her taraf bakımından ihtiyarı olduğu anlamına gelmez. ZPO § 1133'e göre iletişim platformu sağlandığında kural olarak platformun kullanılması gerekir. Buna karşılık avukatla temsil edilmeyen ve platform üzerinden kimliklendirme yapmamış gerçek kişiler, uygun bir kimliklendirme veya iletişim işlevinin bulunmadığı hâller, geçici teknik imkânsızlık ve kullanımın kişi bakımından beklenemeyeceği durumlar için genel iletişim yolları korunmuştur. Böylece dijital erişim, kullanım yükümlülüğü ile alternatif erişim güvencelerinin birlikte tasarlandığı ölçülü bir yapıya bağlanmıştır.

Bu noktada Kanunda öngörülen normatif ve teknik mimari ile pilotun ilk uygulama aşaması birbirinden ayrılmalıdır. Genel ödeme davalarına ilişkin çevrim içi hizmet Nisan 2026'da bir "Minimum Viable Product" (MVP) olarak devreye alınmıştır. Kullanıcıların yönlendirici bir arayüz üzerinden dava dilekçesi oluşturma, sistemin bir PDF üretmesi ve davanın güvenli iletişim kanalı Mein Justizpostfach (MJP) üzerinden pilot mahkemeye gönderilebilmesi sağlanmıştır. DigitalService, dijital giriş sistemlerinin kullanıcı testleri, kullanım verileri ve pilot mahkemelerden gelen geri bildirimler doğrultusunda iteratif biçimde geliştirildiğini açıklamaktadır. Bu nedenle §§ 1131–1133'teki iletişim platformu ile daha ileri yapılandırılmış veri işlevleri değerlendirilirken, kanunun hedeflediği mimari ile ilk uygulama aşamasında fiilen mevcut işlevler birbirine karıştırılmamalıdır (DigitalService des Bundes, 2025; 2026a).

3. DEĞERLENDİRME MEKANİZMASI: ALMAN MODELİNİN ASIL AYIRT EDİCİ YÖNÜ

Online-Verfahren'ın Türk hukuku bakımından en öğretici yönü, tek tek dijital araçlardan ziyade ZPO § 1134'teki değerlendirme mekanizmasıdır. Hükme göre sistem, 23 Aralık 2025'ten itibaren iki, dört ve sekiz yıllık dönemlerde teknik gelişmeler ve uygulamadan elde edilen tecrübeler dikkate alınarak değerlendirilecektir. Kanun, hangi noktaların ölçüleceğini de büyük ölçüde önceden belirlemiştir.

Değerlendirmede dijital başvuru sistemlerinin ne ölçüde kullanıldığı erişilebilirlik, kullanıcı dostu olma ve kullanım kolaylığı, çok sayıda benzer ve standartlaşabilir uyumsuzluğun dijital olarak ne ölçüde kapsanabildiği, mahkemelerin dijital yapılandırma, duruşma ve delile ilişkin yeni imkânlardan nasıl yararlandığı, platformun hangi işlevleri sunduğu, maliyet ve fayda dengesi ile düzenlemenin geliştirilmesi veya kalıcılaştırılmasının gerekip gerekmediği araştırılacaktır. Böylece "sistem devreye alındı" olgusu tek başına başarı ölçütü kabul edilmemektedir (ZPO § 1134).

Deneme niteliği yalnız periyodik değerlendirme yükümlülüğüyle sınırlı değildir. 22 Aralık 2025 tarihli Kanunun 2. maddesi ile 26/3. maddesi birlikte değerlendirildiğinde, Online-Verfahren'a ilişkin pilot hükümlerini kaldıran değişikliklerin 1 Ocak 2036'da yürürlüğe girmesi öngörülmüştür. Aynı tarihte Kanunun 25. maddesiyle Online-Verfahren'a özgü GKG harç hükümleri de kaldırılacaktır. Böylece pilot düzenleme, süresiz biçimde kendiliğinden kalıcılaşan bir model yerine, devamı veya kalıcılaştırılması için yeniden normatif değerlendirme gerektiren yaklaşık on yıllık bir deneme ufkuna bağlanmıştır. Bu yürürlük tekniği, dijital usul reformunun yalnız ölçülebilir değil, gerektiğinde geri döndürülebilir biçimde tasarlanması bakımından özellikle önemlidir (Bundesrepublik Deutschland, 2025; Deutscher Bundestag, 2025).

Bu yaklaşım teknik uygulamada da görünmektedir. DigitalService, çevrim içi adalet hizmetlerinde başarıyı kullanıcı yolculuğu, tamamlanma oranları, mahkeme tarafındaki iş yükü

ve kullanıcı araştırmaları gibi ölçütlerle değerlendirmeye çalıştığını, karşılaştırma verilerinin sınırlı olduğu alanlarda başlangıç ölçümlerini ilerideki geliştirmeler için temel kabul ettiğini açıklamaktadır (DigitalService des Bundes, 2026b). Meller-Hannich'in (2026) "Reallabor" nitelemesi de bu nedenle önemlidir. Amaç, teorik olarak kusursuz olduğu varsayılan bir dijital usulü bir defada kanunlaştırmak değil, gerçek uygulamanın ürettiği verilerle usul hukukunu geliştirmektir.

Usul hukuku bakımından bu yöntem dikkat çekicidir. Çünkü dijital reformlarda teknik imkânların hızla değişmesi, kanunun hazırlanması sırasında yapılan varsayımların kısa sürede geçerliliğini yitirmesine yol açabilir. Buna karşılık temel usul güvencelerinin yalnız teknik ekiplerin veya idari düzenlemelerin tercihinin bırakılması da hukuk devleti bakımından kabul edilemez. Alman modeli, temel yetki ve güvenceleri kanunla belirleyip teknik uygulamayı kontrollü bir pilotta sınama yolunu seçmiştir. Bu denge, Türk hukuku bakımından yapılacak değerlendirmenin de hareket noktası olmalıdır.

4. TÜRK HUKUKUNDA GÜNCEL ZEMİN

Türkiye, dijital yargı bakımından sıfırdan başlayacak bir hukuk sistemi değildir. UYAP uzun süredir yargısal iletişim ve dosya yönetiminin merkezinde yer almakta ve e-Duruşma HMK m. 149 ve 30 Haziran 2021 tarihli Hukuk Muhakemelerinde Ses ve Görüntü Nakledilmesi Yoluyla Duruşma İcrası Hakkında Yönetmelik çerçevesinde hukuk yargılamasının yerleşik araçlarından biri hâline gelmektedir. Adalet Bakanlığının 30 Temmuz 2026 tarihli verilerine göre e-Duruşma 81 ilde tüm hukuk mahkemelerine yaygınlaştırılmış, 5.649 hukuk mahkemesinde aktif olarak kullanılmakta ve sistem üzerinden gerçekleştirilen toplam e-Duruşma sayısı 5.669.112'ye ulaşmış bulunmaktadır (T.C. Adalet Bakanlığı, 2026a). 23 Şubat 2026'da e-Duruşma ile SEGBİS arasındaki entegrasyon projesinin ilk fazının tamamlanması da mevcut altyapının farklı yargısal kullanım alanlarına doğru genişletildiğini göstermektedir (T.C. Adalet Bakanlığı, 2026b).

Daha önemlisi, 2025–2029 Yargı Reformu Stratejisi'nin 1.9 numaralı hedefi mevcut e-Duruşmanın yaygınlaştırılmasıyla yetinmemektedir. Strateji; makul sürede yargılanma hakkı ve adalete erişim amacıyla dijital çözüm platformlarının, çevrim içi uyuşmazlık çözüm yöntemlerinin ve elektronik duruşma yöntemlerinin geliştirilmesini; yeni UYAP yazılımının tamamlanmasını ve UYAP üzerinden verilen çevrim içi hizmetlerin artırılmasını açıkça hedeflemektedir (T.C. Adalet Bakanlığı, 2025a). 21–23 Kasım 2025'te Adalet Bakanlığı ile Boğaziçi Üniversitesi iş birliğiyle düzenlenen "Dijitalleşmenin Medenî Yargılamaya Etkileri Uluslararası Konferansı"nda elektronik duruşmalardan çevrim içi uyuşmazlık çözümüne ve dijital delile kadar geniş bir alanın ele alınması da bu konunun artık yalnız akademik bir öneri olmadığını göstermektedir (T.C. Adalet Bakanlığı, 2025b).

Türk öğretisinde de çevrim içi mahkeme veya ODR temelli yargılama hakkında yeterli bir başlangıç birikimi oluşmuştur. Özellikle Mıdık (2025), ODR yaklaşımından hareketle Türk hukuk yargılaması ve UYAP için yapısal öneriler geliştirmiştir. Karabel ve Aydemir (2023) çevrim içi yargılamayı adalete erişim ve yargılamanın hızlandırılması bağlamında incelemiştir. Bu nedenle Alman reformunun Türkiye bakımından özgün katkısı, "çevrim içi yargılama düşüncesini" ilk kez gündeme getirmesi değildir. Güncel Alman düzenlemesinin asıl katkısı, bu dönüşümün hangi hukuki yöntemle denenebileceğine ilişkin somut bir model sunmasıdır.

5. TÜRK HUKUKUNA UYGUNLUK VE PİLOT USUL İÇİN ÖNERİLER

Alman Online-Verfahren'ın uygulama alanının Türk hukukuna doğrudan aktarılması doğru olmaz. Almanya'da pilotun 10.000 Euro'ya kadar para alacağı davalarına ve belirli pilot Amtsgericht'lere bağlanması, Alman görev sistemi ile düşük değerli uyuşmazlık politikasının

sonucudur. Türk hukukunda ise para alacakları ilamsız icra, bazı uyuşmazlıklarda dava şartı arabuluculuk, tüketici hakem heyetleri ve farklı özel usullerle kesişmektedir (2004 sayılı İcra ve İflâs Kanunu; 6325 sayılı Hukuk Uyuşmazlıklarında Arabuluculuk Kanunu; 6502 sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun). Bu nedenle Türkiye’de pilot kapsamının yalnız parasal bir eşik üzerinden belirlenmesi, mevcut uyuşmazlık çözüm yollarıyla gereksiz örtüşmeler doğurabilir.

Alman modelinden farklı olarak Türk hukuku bakımından pilot kapsamının belirlenmesinde temel ölçüt, yalnız parasal değer değil, uyuşmazlığın “dijital yapılandırılabilirliği” olmalıdır. Dijital yapılandırılabilirlik en az dört gösterge üzerinden somutlaştırılabilir. Vakıa örüntülerinin tekrarlanabilir ve belirli ölçüde standartlaştırılabilir olması; talep sonucunun açık biçimde belirlenebilmesi; delil yapısının ağırlıklı olarak belge ve kayıtlara dayanması; yoğun sözlü delil veya karmaşık bilirkişi incelemesine duyulan ihtiyacın sınırlı olması. İlk aşamada bu özellikleri taşıyan uyuşmazlıklar pilot kapsamına alınabilir. Buna karşılık kişisel durumun belirleyici olduğu, tarafların üzerinde serbestçe tasarruf edemediği veya yoğun sözlü delil değerlendirmesi gerektiren uyuşmazlıklar pilot için uygun değildir. Hangi dava kategorilerinin bu ölçütleri karşıladığı ise varsayımla değil, UYAP istatistikleri ve mahkeme verileri üzerinden belirlenmelidir.

Böyle bir pilotun yeni ve bağımsız bir “çevrim içi mahkeme” kurulması şeklinde tasarlanmasına da ihtiyaç bulunmamaktadır. Türkiye’nin merkezi UYAP altyapısı, Almanya’daki federal yapının yol açtığı heterojen teknik altyapıdan farklı bir başlangıç noktası sunmaktadır. Bu nedenle pilot, belirlenen mevcut hukuk mahkemelerinde ve UYAP içinde ayrı bir dijital usul akışı olarak kurgulanabilir. Başvurunun e-Devlet veya UYAP bağlantılı yönlendirici bir arayüzden yapılması taraf, talep, vakıa ve delil bilgilerinin yapılandırılmış biçimde toplanması daha sonra bu verilerin doğrudan elektronik dava dosyasına aktarılması düşünülebilir.

Başvuru arayüzünün sınırı burada önemlidir. Sistem, tarafın talebini ifade etmesini ve dava malzemesini düzenlemesini kolaylaştırabilir. Ancak davanın kazanılma ihtimaline ilişkin sonuç üretmemeli, somut olay için hukukî danışmanlık yaptığı izlenimi yaratmamalı ve hâkimin hukukî değerlendirme alanına girmemelidir. Teknolojinin işlevi, taraf iradesini ikame etmek değil, usul işlemini anlaşılır ve düzenli hâle getirmek olmalıdır. Bu ayırım hem tarafsızlık hem de silahların eşitliği bakımından gereklidir.

Dava açıldıktan sonra hâkimin dijital yapılandırma yetkisi de Türk medeni usul hukukunun temel ilkeleriyle sınırlandırılmalıdır. HMK m. 31’de düzenlenen hâkimin davayı aydınlatma ödevi ile m. 32’de düzenlenen yargılamanın sevk ve idaresi yetkisi, uyuşmazlık noktalarının görünür hâle getirilmesine elverişli bir zemin sunabilir. Bununla birlikte yapılandırılmış ekran veya dijital usul belgesi, tarafların vakıa ileri sürme hakkını daraltmamalı, yeni veya düzeltilmiş açıklamaların sunulmasına imkân vermeli ve tarafların sistem tarafından oluşturulan sınıflandırmaya itiraz edebilmesini sağlamalıdır. Benzer şekilde, Alman ZPO § 1127/5’teki genel erişime açık kaynaklardan bilgi edinme yetkisine benzer bir mekanizma Türk hukukunda öngörülecekse, HMK m. 25’teki taraflarca getirilme ilkesi, HMK m. 31’deki hâkimin davayı aydınlatma ödevi ve HMK m. 27’deki hukukî dinlenilme hakkı arasındaki sınır açık biçimde belirlenmelidir. Aksi hâlde teknik standardizasyon veya dijital bilgiye erişim, tarafların yargılamanın maddi temelini belirleme yetkisi üzerinde baskı yaratabilir. Alman öğretisinde § 1127/5 benzeri bir genişlemenin hukukî dinlenilme güvencesi korunduğu ölçüde anayasal olarak mümkün olduğu savunulsa da (Rühl, 2025), Türk hukukunda aynı sonuca doğrudan geçilemez; HMK m. 25, 27 ve 31 arasındaki sınırın pilotun kanunî dayanağında açıkça kurulması gerekir.

Pilotun kanunî dayanağı açık olmalıdır. Duruşmasız karar verilmesi, taraflara yeni dijital kullanım yükümlülükleri getirilmesi, dava malzemesinin yapılandırılmasına ilişkin hâkim yetkilerinin genişletilmesi veya olağan usulden farklı süre ve iletişim biçimlerinin kullanılması, yalnız idari düzenleme veya teknik kılavuzla kurulabilecek hususlar değildir. Bu nedenle temel usul çerçevesi HMK’da veya özel bir kanunda düzenlenmeli, hangi mahkemelerin ve hangi uyuşmazlıkların pilota katılacağı ile teknik standartlar, kanunun çizdiği sınırlar içinde ikincil düzenlemelere bırakılmalıdır.

Gerçek kişiler bakımından dijital yolun başlangıçta ihtiyarî tutulması ve dijital olmayan erişim imkânının korunması da önem taşır. Dijital okuryazarlık, engellilik, teknik altyapı veya ekonomik nedenlerle elektronik kanalı etkin kullanamayan kişinin hak arama imkânı zayıflatılmamalıdır. Anayasa m. 36’da güvence altına alınan hak arama hürriyeti ve adil yargılanma hakkı ile HMK m. 27’de düzenlenen hukukî dinlenilme hakkı, yalnız mahkemeye teknik olarak bağlanabilmeyi değil, kişinin iddia ve savunmasını etkili biçimde ileri sürebilmesini gerektirir. Bu nedenle gerektiğinde fizikî duruşma ve olağan başvuru yolu açık kalmalıdır. Gerçek kişiler bakımından analog erişimin korunması ve dijital kullanım yükümlülüğünün ölçülü tutulması Alman reform tartışmalarında da özellikle vurgulanmaktadır (Rühl, 2025). E-Duruşma ise duruşmanın gerekli olduğu ancak fiziksel katılımın zorunlu olmadığı dosyalarda mevcut bir araç olarak pilotun içine dâhil edilebilir.

Son olarak pilotun başarısı, yalnız kaç başvurunun elektronik yapıldığıyla ölçülmemelidir. Uygulama başlamadan önce yargılama süresi, taraf ve mahkeme maliyetleri, hâkim ve personel iş yükü, duruşma yapılma oranı, olağan usule geçiş oranı, kanun yolu başvuruları ve kararların kaldırılma veya bozulma oranı, başvuruyu tamamlayabilme, erişilebilirlik sorunları, teknik destek ihtiyacı ve kullanıcı memnuniyeti gibi göstergeler belirlenmelidir. Nicel veriler, hâkim, avukat, taraf ve adliye personeliyle yapılacak nitel çalışmalarla birlikte değerlendirilmelidir. Sonuçlar kamuya açık bir raporla ortaya konulmalı ve pilot başarılıysa genişletilmeli, belirli araçlar sorun yaratıyorsa değiştirilmelidir. Beklenen fayda ortaya çıkmazsa uygulamanın sona erdirilebilmesi de pilot yaklaşımın doğal bir sonucu olmalıdır.

Bu göstergelerin anlamlı olabilmesi için karşılaştırma tasarımı da uygulama başlamadan önce kurulmalıdır. Mümkün olduğu ölçüde pilot dosyaları, aynı uyuşmazlık türü, benzer dava değeri ve benzer dönemde olağan usulde görülen dosyalarla karşılaştırılmalıdır. Aksi hâlde daha kısa süren veya daha az duruşma yapılan dosyaların gerçekten dijital usul nedeniyle mi, yoksa pilota zaten daha basit ve standartlaştırılabilir uyuşmazlıkların seçilmesi nedeniyle mi farklılaştığı belirlenemez. Bu nedenle pilot değerlendirmesi yalnız “önce-sonra” ölçümüne değil, mümkün olduğunca karşılaştırılabilir bir olağan usul grubuna da dayanmalıdır.

Bu çerçeve, Alman hukukunun doğrudan aktarılmasını değil, oradaki reform yönteminin Türk hukukunun kurumsal ve usulî özellikleriyle yeniden kurulmasını ifade eder. Türkiye için asıl soru çevrim içi yargılamanın teknik olarak mümkün olup olmadığı değildir. UYAP ve e-Duruşma bu imkânın önemli ölçüde mevcut olduğunu göstermektedir. Asıl sorun, yeni dijital usul araçlarının hukukî güvenlikten ve temel yargılama güvencelerinden ödün vermeden hangi yöntemle geliştirileceğidir.

SONUÇ

Alman ZPO §§ 1121 vd. ile kurulan Online-Verfahren, medeni yargılamada dijitalleşmenin yalnız elektronik dosya veya video duruşmasından ibaret olmadığını somut biçimde göstermektedir. Dijital başvuru, yapılandırılmış dava malzemesi, esnek duruşma düzeni, delilin dijital iletişim araçlarıyla alınmasına ilişkin yöntemler ve platform temelli iletişim aynı usul içinde bir araya getirilmiştir. Bununla birlikte düzenlemenin Türk hukuku bakımından en

önemli yönü, bu araçların kendisinden çok, sınırlı uygulama ve zorunlu değerlendirmeye dayanan reform yöntemidir.

Türkiye’de UYAP ve e-Duruşma nedeniyle güçlü bir dijital altyapı bulunmaktadır. Yargı Reformu Stratejisi de dijital çözüm platformlarını, çevrim içi uyuşmazlık çözümünü ve elektronik duruşmanın geliştirilmesini açıkça gündeme almıştır. Bu nedenle çevrim içi yargılama artık yalnız uzak bir reform önerisi değildir. Buna karşılık Alman modelinin 10.000 Euro’ya kadar para alacakları, pilot Amtsgericht’ler ve federal platform mimarisi gibi unsurları Türk hukukuna olduğu gibi taşınmamalıdır. Türk hukukunda uyuşmazlıkların ilamsız icra, arabuluculuk ve diğer özel mekanizmalarla kesişen yapısı ile UYAP’ın merkezi niteliği farklı bir model gerektirir.

Türk hukuku için önerilebilecek yaklaşım mevcut mahkemeler ve UYAP içinde, kapsamı kanunla çizilmiş, özellikle gerçek kişiler bakımından ihtiyarî, dijital olmayan erişimi koruyan ve dijital yapılandırmaya elverişli uyuşmazlıklarla sınırlı bir pilot usuldür. Duruşmasız karar, dijital iletişim yükümlülüğü ve yapılandırılmış beyan gibi temel usul farklılıkları kanunî dayanağa sahip olmalı ve teknoloji tarafların iddia ve savunma hakkını veya hâkimin bağımsız değerlendirmesini ikame etmemelidir.

Pilotun başarısı da yalnız işlem sayısı ile değil süre, maliyet, iş yükü, erişilebilirlik, kullanıcı deneyimi, hukukî dinlenilme hakkının korunması ve kanun yolu sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmelidir. Bu açıdan Alman Online-Verfahren’ın Türk hukuku bakımından asıl karşılaştırmalı değeri, hazır bir “online mahkeme” modeli sunmasında değil, usul reformunun yöntemini değiştirmesinde yatmaktadır. Dijital usul yeniliklerinin önce kanunla sınırlandırılmış bir alanda denenmesi, etkilerinin önceden belirlenmiş ölçütlerle ölçülmesi ve ancak usul güvenceleri ile etkinlik bakımından olumlu sonuç vermeleri hâlinde yaygınlaştırılması, Türk medeni usul hukukunda dijital dönüşüm için daha ihtiyatlı ve denetlenebilir bir reform modeli sunmaktadır. Bu modelde pilot kapsamının “dijital yapılandırılabilirlik” ölçütüyle belirlenmesi ve düzenlemenin baştan değerlendirilebilir ve sona erdirilebilir bir yapı içinde kurulması, Alman reformundan Türk hukuku için çıkarılabilecek iki temel sonuçtur.

KAYNAKÇA

Beck, L. (2026). Die Entwicklung und Erprobung eines Online-Verfahrens in der Zivilgerichtsbarkeit. Monatsschrift für Deutsches Recht, 80(7), 409–416. <https://doi.org/10.9785/mdtr-2026-800702>

Bundesrepublik Deutschland. (2025). Gesetz zur Entwicklung und Erprobung eines Online-Verfahrens in der Zivilgerichtsbarkeit vom 22. Dezember 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 349).

Deutscher Bundestag. (2025). Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Recht und Verbraucherschutz zum Entwurf eines Gesetzes zur Entwicklung und Erprobung eines Online-Verfahrens in der Zivilgerichtsbarkeit (BT-Drs. 21/2780). <https://dserver.bundestag.de/btd/21/027/2102780.pdf>

DigitalService des Bundes. (2025, 13 August). Erste Schritte für eine Kommunikationsplattform für zivilgerichtliche Online-Verfahren. <https://digitalservice.bund.de/blog/erste-schritte-fuer-eine-kommunikationsplattform-fuer-zivilgerichtliche-online-verfahren>

DigitalService des Bundes. (2026a, 6 May). Erprobung des zivilgerichtlichen Online-Verfahrens startet in der Praxis. <https://digitalservice.bund.de/blog/erprobung-des-zivilgerichtlichen-online-verfahrens-startet-in-der-praxis>

DigitalService des Bundes. (2026b, 19 May). Wie wir die Wirkung unserer Online-Dienste der Justiz messen. <https://digitalservice.bund.de/blog/wie-wir-die-wirkung-unserer-online-dienste-der-justiz-messen>

Gerichtskostengesetz [GKG]. Anlage 1 (Kostenverzeichnis), KV Nr. 1210, 1216–1217. https://www.gesetze-im-internet.de/gkg_2004/

Gerichtsverfassungsgesetz [GVG]. § 23 Nr. 1. <https://www.gesetze-im-internet.de/gvg/>

- Herberger, M. (2024). Per Reallabor zum Online-Verfahren in der Zivilgerichtsbarkeit? Zeitschrift für Rechtspolitik, 57(6), 166–169.
- Hukuk Muhakemeleri Kanunu, 6100 sayılı Kanun, RG 4.2.2011/27836.
- Hukuk Muhakemelerinde Ses ve Görüntü Nakledilmesi Yoluyla Duruşma İcrası Hakkında Yönetmelik, RG 30.6.2021/31527.
- Hukuk Uyuşmazlıklarında Arabuluculuk Kanunu, 6325 sayılı Kanun, RG 22.6.2012/28331.
- İcra ve İflâs Kanunu, 2004 sayılı Kanun, RG 19.6.1932/2128.
- Karabel, E. G., & Aydemir, D. (2023). Medeni usul hukukunda yargılamanın hızlandırılması ve adalete erişim hakkı bakımından çevrimiçi yargılama ve yapay zekânın kullanımı. Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi, 29(1), 530–573. <https://doi.org/10.33433/maruhad.1263609>
- Meller-Hannich, C. (2026). Das Online-Verfahren als Reallabor für den digitalen Zivilprozess. JuristenZeitung, 81(13), 580–586. <https://doi.org/10.1628/jz-2026-0168>
- Mıdık, B. (2025). Türk hukuk yargılama sistemi ve UYAP sistemini çevrim içi uyuşmazlık çözüm yöntemleri doğrultusunda yeniden tasarlamak. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 29(1), 599–660. <https://doi.org/10.60002/ebyuhfd.1563474>
- Mielke, B., & Wolff, C. (2026). Online-Verfahren – Gamechanger für den Zivilprozess? In E. Schweighofer, S. Eder, F. Costantini, & J. Schmutz (Eds.), Mensch-Maschine-Kooperation im Cyberspace / Human-Machine Cooperation in Cyberspace: Tagungsband des 29. Internationalen Rechtsinformatik Symposions IRIS 2026 (pp. 165–174). Editions Weblaw.
- Riehm, T. (2026). Das neue zivilgerichtliche Online-Verfahren. Neue Juristische Wochenschrift, 79(32), 2289–2295.
- Rühl, G. (2025). Schriftliche Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur Entwicklung und Erprobung eines Online-Verfahrens in der Zivilgerichtsbarkeit (Ausschussdrucksache 21(6)15b). Deutscher Bundestag, Ausschuss für Recht und Verbraucherschutz.
- T.C. Adalet Bakanlığı. (2025a). Türkiye Yüzyılı Yargı Reformu Stratejisi 2025–2029. <https://sgb.adalet.gov.tr/Resimler/SayfaDokuman/21042025165512Türkiye%20Yüzyili%20Yargi%20Reformu%20Stratejisi.pdf>
- T.C. Adalet Bakanlığı. (2025b, 25 Kasım). Dijitalleşmenin Medenî Yargılamaya Etkileri Uluslararası Konferansı, 21–23 Kasım 2025 Antalya. <https://sgb.adalet.gov.tr/Home/SayfaDetay/dijitallesmenin-medeni-yargilamaya-etkileri-uluslararasi-konferansi-21-23-kasim-2025-antalya25112025064855>
- T.C. Adalet Bakanlığı. (2026a, 30 Temmuz). e-Duruşma ile yargılama faaliyetlerini hızlandırdık! <https://uyap.gov.tr/e-durusma-ile-yargilama-faaliyetlerini-hizlandirdik>
- T.C. Adalet Bakanlığı. (2026b, 23 Şubat). e-Duruşma ve SEGBİS entegrasyonu başarıyla tamamlanmıştır. <https://edurusbilgi.adalet.gov.tr/e-Duru%C5%9Fma%20ve%20SEGB%C4%B0S%20Entegrasyonu%20Ba%C5%9Far%C4%B1yla%20Tamamlanm%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1r>
- Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, 2709 sayılı Kanun, RG 9.11.1982/17863 (Mükerrer).
- Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun, 6502 sayılı Kanun, RG 28.11.2013/28835.
- Yıldırım, K., & Gül, M. A. (2021). “Küçük uyuşmazlıkların (small claims)” kendine özgü bir prosedür dâhilinde çözümlenmesine ilişkin düşünceler. Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi, 27(2), 1334–1351. <https://doi.org/10.33433/maruhad.987831>
- Zivilprozessordnung [ZPO]. §§ 1121–1136. <https://www.gesetze-im-internet.de/zpo/>
- Zwickel, M. (2026). Das neue zivilgerichtliche Online-Verfahren – Ein echter deutscher small claims track? Recht Digital, 6(1), 32–39.

FIXED AND REMOVABLE PROSTHETIC REHABILITATION IN INDIVIDUALS WITH DISABILITIES: A CASE REPORT

Specialist Dentist Rabia ÇİÇEK

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize

ORCID ID: 0009-0006-6829-7340

ABSTRACT

Objective: Prosthetic treatment planning in individuals with mental and physical disabilities requires consideration not only of the prognosis of the remaining teeth but also of individual factors such as the patient's ability to maintain oral hygiene, adapt to prostheses, and use removable dentures. This case report aimed to present the multidisciplinary rehabilitation of a patient with mental and physical disabilities following childhood meningitis, using a combination of fixed and removable prosthetic approaches tailored to the patient's functional capacity while preserving the remaining teeth and supporting tissues as much as possible.

Case Presentation: A 51-year-old patient presented to our clinic with generalized gingival swelling and bleeding, pain in the region of tooth #34, and a request for prosthetic replacement of missing teeth. Following clinical and radiographic examinations, periodontal, endodontic, restorative, and surgical treatment needs were identified. Initial treatment included scaling, extraction of teeth with a poor prognosis, root canal treatment of the indicated teeth, caries removal, and restorative procedures. During prosthetic evaluation, priority was given to preserving teeth capable of providing support and withstanding prosthetic loads. Fiber posts were placed in the indicated teeth to re-establish the occlusal relationship and provide adequate retention for the restorations. A removable partial denture was planned for the maxilla because of the absence of molar and premolar teeth. In the mandible, the presence of a molar in the right posterior region and a premolar in the left posterior region was evaluated together with the available arch length and distribution of the supporting teeth. In addition, considering the patient's mental and physical limitations, adaptation to simultaneous removable prostheses in both arches and maintenance of adequate prosthesis hygiene were expected to be difficult. Therefore, a fixed prosthetic restoration supported by the remaining teeth was preferred in the mandible instead of a removable prosthesis. At the completion of treatment, the patient's occlusal relationships were re-established, and esthetics, function, and speech were rehabilitated. No prosthesis-related complaints were reported during follow-up.

Conclusion: Prosthetic treatment planning in patients with mental and physical disabilities should be individualized based not only on the pattern of tooth loss but also on the patient's motor and cognitive abilities, capacity to maintain oral hygiene, ability to adapt to prostheses, and the characteristics of the remaining supporting tissues. In this case, the combined use of a removable prosthesis in the maxilla and a fixed prosthetic restoration in the mandible reduced the difficulties associated with wearing and cleaning two removable prostheses while allowing maximum use of the remaining teeth; esthetics, function, phonation, and occlusal balance were successfully restored. Combining fixed and removable treatment options according to individual patient characteristics may represent a practical approach for the prosthetic rehabilitation of individuals with special needs.

Keywords: Individuals with disabilities; prosthetic rehabilitation; removable partial denture; fixed prosthesis; multidisciplinary treatment.

INTRODUCTION

Individuals with intellectual and physical disabilities represent a particularly vulnerable population with respect to oral health because of difficulties in maintaining oral hygiene, limitations in motor skills, communication and cooperation challenges, and barriers to accessing regular dental care [1]. Adults with intellectual disabilities have been reported to exhibit poorer oral hygiene, a higher prevalence of gingivitis and periodontal disease, and an increased burden of untreated dental caries and tooth loss compared with the general population [1,2]. These oral conditions may adversely affect mastication, speech, esthetics, and overall quality of life, ultimately resulting in a greater need for comprehensive restorative and prosthetic rehabilitation [2,3].

Successful dental management of individuals with disabilities depends not only on their existing oral and dental conditions but also on patient-related factors such as cognitive status, motor function, ability to cooperate during treatment, capacity to maintain oral hygiene independently, and availability of caregiver assistance when necessary [4]. Because the functional abilities and levels of dependency of individuals with special needs may vary considerably, treatment planning should be individualized rather than based on a standardized therapeutic approach [3,4].

The selection between fixed and removable prosthetic treatment options may therefore be particularly challenging in this patient population. In addition to the prognosis and distribution of the remaining teeth, available prosthetic support, and occlusal conditions, the patient's ability to insert and remove a prosthesis, maintain adequate oral and prosthesis hygiene, and comply with long-term maintenance should be carefully considered. In a clinical report involving a patient with severe physical impairment, Auerbacher et al. [3] emphasized that prosthetic treatment planning should account for the patient's ability to perform oral hygiene and the degree of dependence on caregivers, and demonstrated that fixed and removable prosthetic approaches may be combined according to individual functional requirements.

This clinical report presents the multidisciplinary oral rehabilitation of a patient with intellectual and physical disabilities following childhood meningitis. A patient-centered prosthetic treatment strategy combining a removable prosthesis in the maxilla and fixed prosthetic restorations in the mandible was selected to preserve the remaining teeth and supporting tissues whenever possible while accommodating the patient's functional abilities and anticipated limitations in prosthesis use and maintenance.

CASE REPORT

A 51-year-old patient with intellectual and physical disabilities following meningitis in childhood presented to the Recep Tayyip Erdogan University, Department of Prosthodontics with complaints of generalized gingival swelling and bleeding, pain in the mandibular left premolar region, and difficulty related to multiple missing teeth. The patient also requested prosthetic replacement of the missing teeth to improve oral function and esthetics.

A comprehensive clinical and radiographic examination was performed at the initial visit. Radiographic evaluation revealed signs of infection associated with teeth #34, #15, and #11, in addition to multiple carious lesions and extensive tooth loss. The periodontal condition, mobility of the remaining teeth, distribution of the edentulous areas, and suitability of the remaining teeth as prosthetic abutments were also assessed (Figure 1).



Figure 1. Panoramic radiograph before the treatment

Before definitive prosthetic treatment, Phase I periodontal therapy, including scaling, was performed, resulting in improvement of gingival inflammation and bleeding. Tooth #34, which exhibited mobility and radiographic signs of infection, underwent root canal treatment and was subsequently monitored clinically and radiographically to determine whether its mobility would decrease (Figure 2). Despite periodontal and endodontic treatment, no clinically relevant reduction in the mobility of tooth #34 was observed; therefore, the tooth was considered unsuitable as a prosthetic abutment and was extracted. Tooth #31 was also extracted according to the definitive treatment plan. During the same treatment phase, carious lesions were removed and the indicated restorative procedures were completed. Teeth #15 and #11 also underwent root canal treatment.



Figure 2. Periapical radiographs of tooth #34 before and after root canal treatment.

Following stabilization of the periodontal, endodontic, and restorative conditions, the remaining teeth were evaluated for definitive prosthetic rehabilitation. To establish a more favorable occlusal relationship in the maxillary anterior region and provide adequate retention for the

planned restorations, teeth #12 and #21 underwent root canal treatment and were restored with fiber posts (Figure 3).



Figure 3. Clinical view of the prepared teeth following tooth preparation.

Considering the distribution and prognosis of the remaining teeth, occlusal requirements, and the patient's ability to use and maintain the prostheses, a combined fixed and removable treatment approach was selected. In the maxilla, fixed restorations extending from teeth #15 to #22 were planned in combination with a removable partial denture. In the mandible, a fixed prosthetic restoration extending from teeth #46 to #35 was planned, with tooth #36 replaced as a cantilever unit. The decision to avoid a second removable prosthesis in the mandible was made to facilitate prosthesis use and oral hygiene considering the patient's intellectual and physical limitations.

Following tooth preparation, a digital impression was obtained for fabrication of the definitive restorations. The prostheses were fabricated according to the planned design and delivered after clinical evaluation of fit, occlusion, esthetics, and function. During prosthesis delivery, the patient exhibited a tendency to deviate the mandible during closure. Therefore, lateral and protrusive movements were carefully evaluated, and selective occlusal adjustments were performed at areas of interference to facilitate smooth mandibular excursions and prevent occlusal locking. The occlusal relationships were adjusted as necessary, and the patient and caregiver were instructed regarding oral and prosthesis hygiene. At the completion of treatment, satisfactory esthetics, function, phonation, and occlusal stability were achieved (Figure 4).



Figure 4. Final intraoral view after completion of the fixed and removable prosthetic rehabilitation.

DISCUSSION

The present clinical report highlights the importance of individualized prosthetic treatment planning in patients with intellectual and physical disabilities. Previous studies have

demonstrated that adults with intellectual and developmental disabilities frequently present with poorer oral hygiene, periodontal disease, untreated caries, and extensive dental treatment needs [1,2,5]. Moreover, functional ability, cooperation, living conditions, and the availability of caregiver support may directly influence the feasibility and long-term maintenance of dental treatment [4,5]. In the present patient, these considerations required a multidisciplinary approach in which periodontal, endodontic, and restorative conditions were stabilized before definitive prosthetic rehabilitation.

The ability to maintain oral and prosthesis hygiene is particularly relevant when selecting a prosthetic design for patients with disabilities. Minihan et al. [6] reported that a large proportion of adults with developmental disabilities required assistance with daily tooth cleaning, whereas Sullivan et al. [7] demonstrated that physical limitations may restrict independent oral hygiene practices. These findings support the need to consider not only the anatomical conditions but also the patient's ability to manipulate and clean a prosthesis. In the present case, fabrication of removable prostheses for both arches was considered potentially difficult for the patient to manage; therefore, a removable partial denture was selected for the maxilla, while the mandibular arch was rehabilitated with a fixed prosthesis.

The selection of different prosthetic modalities for the two arches represents the principal feature of the present rehabilitation. Auerbacher et al. [3] similarly emphasized that prosthetic design in patients with severe disabilities should consider oral hygiene capacity and caregiver dependency, and combined fixed and removable treatment modalities according to the patient's individual circumstances. Kovačić et al. [8] reported improvements in masticatory function following both fixed and removable prosthetic rehabilitation in individuals with intellectual disabilities, although fixed restorations were associated with greater difficulties in maintaining oral hygiene. Furthermore, Matsuda et al. [9] demonstrated that prosthetic design may need to be modified when maintenance becomes difficult. Collectively, these observations indicate that neither fixed nor removable prostheses should be regarded as universally preferable in patients with special needs; rather, treatment should balance biomechanical requirements, hygiene, functional capacity, and ease of maintenance.

Functional characteristics of the patient should also be considered during definitive prosthetic treatment. During prosthesis delivery in the present case, the patient showed a tendency to deviate the mandible during closure, requiring careful evaluation and selective adjustment of interferences during lateral and protrusive movements. Evidence concerning fixed prostheses in patients with neuromotor or intellectual disabilities also suggests that patient-related factors and prosthesis design may influence long-term outcomes. Magata et al. [10], for example, reported that the type and design of fixed prostheses were relevant to their prognosis in patients with cerebral palsy, while Yamaguchi-Komeyama et al. [11] demonstrated that fixed prostheses can remain a viable treatment option in individuals with severe intellectual disabilities when appropriate dental management is provided. These findings further support adapting prosthetic procedures to the functional characteristics of each patient rather than relying solely on conventional prosthetic principles.

Ultimately, the objective of prosthetic rehabilitation in patients with special needs extends beyond replacement of missing teeth and includes restoration of function, esthetics, phonation, and quality of life. Auerbacher et al. [3] reported improvement in several dimensions of oral health-related quality of life after comprehensive prosthetic rehabilitation of a patient with severe physical disability. Similarly, significant improvements in oral health-related quality of life after dental treatment have been reported in adults with intellectual disabilities by

Hillebrecht et al. [12] and Rollon-Ugalde et al. [13]. In the present case, the combined fixed and removable approach restored esthetics, function, phonation, and occlusal stability while reducing the difficulties associated with the use and maintenance of two removable prostheses. This case therefore supports a patient-centered approach in which prosthetic treatment is tailored to the individual's oral condition, functional capacity, and anticipated ability to maintain the rehabilitation.

CONCLUSIONS

This clinical report demonstrates that prosthetic rehabilitation in patients with intellectual and physical disabilities should be individualized according to the condition of the remaining dentition, functional abilities, oral hygiene capacity, and anticipated ability to manage the prostheses. The combined use of a removable prosthesis in the maxilla and fixed restorations in the mandible provided a practical treatment approach that reduced the burden associated with two removable prostheses while restoring esthetics, function, phonation, and occlusal stability. Careful multidisciplinary planning and patient-specific modification of prosthetic design may therefore contribute to successful rehabilitation in individuals with special needs.

REFERENCES

1. Anders PL, Davis EL. Oral health of patients with intellectual disabilities: A systematic review. *Spec Care Dentist*. 2010;30(3):110-117.
2. Ward LM, Cooper SA, Hughes-McCormack L, Macpherson L, Kinnear D. Oral health of adults with intellectual disabilities: a systematic review. *J Intellect Disabil Res*. 2019;63(11):1359-1378.
3. Auerbacher M, Kakoschke TK, Hickel R, Kaisarly D. Treatment Plan and Challenges in Full-Mouth Rehabilitation of a Quadriplegic Patient: A Clinical Report. *J Prosthodont*. 2022;31(3):183-189. doi:10.1111/jopr.13461.
4. Wilson NJ, Lin Z, Villarosa A, Lewis P, Philip P, Sumar B, George A. Countering the poor oral health of people with intellectual and developmental disability: a scoping literature review. *BMC Public Health*. 2019;19:1530.
5. Morgan JP, Minihan PM, Stark PC, et al. The oral health status of 4,732 adults with intellectual and developmental disabilities. *J Am Dent Assoc*. 2012;143(8):838-846. doi:10.14219/jada.archive.2012.0288.
6. Minihan PM, Morgan JP, Park A, et al. At-home oral care for adults with developmental disabilities: A survey of caregivers. *J Am Dent Assoc*. 2014;145(10):1018-1025. doi:10.14219/jada.2014.64.
7. Sullivan AL, Bailey JH, Stokic DS. Predictors of oral health after spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2013;51:300-305.
8. Kovačić I, Badrov J, Vidović N, Čelebić A. Preliminary clinical report of satisfaction with prosthodontic rehabilitation of intellectually disabled young adults provided by parents or caregivers. *Int J Prosthodont*. 2011;24(4):303-305.
9. Matsuda K, Kurushima Y, Enoki K, Ikebe K, Maeda Y. Replacement of a mandibular implant-fixed prosthesis with an implant-supported overdenture to improve maintenance and care. *J Prosthodont Res*. 2014;58(2):132-136.
10. Magata N, Tanoue N, Ayuse T, Ayuse T. A prospective clinical evaluation of fixed dental prostheses made of metal alloys in patients with cerebral palsy. *Clin Exp Dent Res*. 2021;7(4):561-567. doi:10.1002/cre2.378.

11. Yamaguchi-Komeyama K, Tanoue N, Kurata S, Ayuse T. Dental treatment under intravenous sedation prolongs longevity of a fixed prosthesis in patients with intellectual disabilities. *Spec Care Dentist*. 2022;42:209-216. doi:10.1111/scd.12677.
12. Hillebrecht AL, Hrasky V, Anten C, Wiegand A. Changes in the oral health-related quality of life in adult patients with intellectual disabilities after dental treatment under general anesthesia. *Clin Oral Investig*. 2019;23(10):3895-3903. doi:10.1007/s00784-019-02820-4.
13. Rollon-Ugalde V, Coello-Suanzes JA, Lopez-Jimenez AM, et al. Oral health-related quality of life after dental treatment in patients with intellectual disability. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2020;25(5):e576-e583. doi:10.4317/medoral.23549.

FULL-MOUTH TOOTH- AND IMPLANT-SUPPORTED PROSTHETIC REHABILITATION IN A PATIENT WITH A SEVERE CLASS II OCCLUSAL RELATIONSHIP: A CASE REPORT

Specialist Dentist Rabia ÇİÇEK

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize

ORCID ID: 0009-0006-6829-7340

ABSTRACT

Objective: A severe Class II maxillomandibular relationship and increased overjet may present significant clinical challenges during fixed prosthetic rehabilitation, particularly in establishing anterior occlusal contacts, meeting esthetic demands, and selecting appropriate restorative materials. This case report aimed to present a comprehensive rehabilitation in which individualized material selection and prosthetic design strategies were used according to regional esthetic and functional requirements in the presence of complex occlusal conditions and different types of prosthetic support.

Case Presentation: A 79-year-old female patient with high esthetic expectations presented with a severe Class II maxillomandibular relationship and an overjet of approximately 7–8 mm. A full-arch implant-supported fixed prosthetic rehabilitation was planned in the mandible using seven implants. In the maxilla, natural teeth were present in combination with three implants in the right posterior region and two implants in the left posterior region. The existing vertical dimension of occlusion was maintained, with particular attention paid to avoiding any reduction in vertical dimension during rehabilitation. Due to the marked sagittal discrepancy and increased overjet, the limited occlusal contact of the maxillary anterior restorations with the opposing arch became an important determinant in material selection. Zirconia restorations were selected for the maxillary anterior region because of the patient's high esthetic expectations and the relatively limited occlusal loading in this area. Metal-ceramic restorations were used in the mandibular arch and maxillary posterior regions to withstand functional loads and provide stable occlusal contacts. In the maxilla, tooth–implant connection was avoided because of the different biomechanical behavior of natural teeth and implants; therefore, implants were splinted to each other, while natural teeth were splinted separately to form independent prosthetic units. Following completion of the restorations, occlusal contacts were reorganized while maintaining the existing maxillomandibular relationship, and the patient's esthetic and functional requirements were successfully addressed.

Conclusion: In complex full-mouth rehabilitations involving a severe Class II relationship and pronounced overjet, treatment planning should consider the existing maxillomandibular relationship, vertical dimension, regional distribution of occlusal loads, restorative material properties, and the biomechanical differences between natural teeth and implant supports. In this case, the combined use of zirconia and metal-ceramic restorations according to regional esthetic and functional demands, together with separate splinting of natural teeth and implants in the maxilla, provided an individualized prosthetic approach for managing complex occlusal conditions.

Keywords: Class II malocclusion; increased overjet; full-mouth rehabilitation; implant-supported prosthesis; zirconia; metal-ceramic restoration.

INTRODUCTION

Severe Class II maxillomandibular relationships may present substantial challenges in prosthodontic rehabilitation because the sagittal discrepancy between the arches can compromise anterior tooth relationships, occlusal contacts, esthetics, and the establishment of a stable functional occlusion [1]. In adult patients, correction of a pronounced Class II relationship may involve orthodontic treatment, orthognathic surgery, prosthodontic rehabilitation, or a combination of these approaches [1,2]. When extensive fixed prosthetic treatment is required, particularly in older patients with complex restorative conditions, treatment planning should therefore be individualized according to the existing maxillomandibular relationship, available restorative space, functional requirements, and patient-related factors [2,3].

Occlusal vertical dimension (OVD) is another important consideration in extensive prosthodontic rehabilitation. Although alteration of the OVD can be performed when required to obtain adequate restorative space or improve esthetics and function, unnecessary changes should be avoided when an acceptable and clinically stable vertical relationship is already present [4]. Consequently, comprehensive rehabilitation should be based not only on the replacement of missing teeth but also on preservation or re-establishment of a stable occlusal relationship and appropriate distribution of functional loads.

Treatment planning becomes more complex when natural teeth and osseointegrated implants coexist within the same arch because of their different biomechanical behavior. Natural teeth exhibit physiologic mobility through the periodontal ligament, whereas osseointegrated implants demonstrate substantially lower mobility under functional loading. This difference should be considered when determining prosthetic unit design and whether tooth and implant abutments should be connected. Tooth–implant-supported fixed dental prostheses can achieve acceptable survival rates; however, biological and technical complications have been reported, emphasizing the importance of careful prosthetic design [5].

The selection of restorative material is similarly influenced by regional esthetic and biomechanical requirements. Zirconia-based restorations provide favorable esthetic characteristics and are widely used in contemporary fixed prosthodontics, whereas metal-ceramic restorations continue to demonstrate predictable clinical performance, particularly in multiunit and implant-supported restorations [6,7]. Therefore, using different restorative materials according to the anticipated load and esthetic requirements of different regions may represent a rational strategy in complex full-mouth rehabilitation.

This clinical report describes the full-mouth tooth- and implant-supported prosthetic rehabilitation of an elderly patient with a severe Class II maxillomandibular relationship and pronounced overjet. An individualized restorative approach was used in which the existing OVD and maxillomandibular relationship were maintained, natural teeth and implants were restored as independent prosthetic units in the maxilla, and zirconia and metal-ceramic restorations were selected according to regional esthetic and functional demands.

CASE REPORT

A 79-year-old female patient was referred to the Department of Prosthodontics with high esthetic expectations and complaints related to impaired mastication and unsatisfactory dental appearance. Clinical examination revealed a severe Class II maxillomandibular relationship with excessive overjet and overbite. The remaining mandibular teeth exhibited advanced mobility and were considered hopeless. The patient also presented with a complex restorative condition involving both natural teeth and edentulous areas.

Considering the poor prognosis of the mandibular teeth, extraction was planned as part of the definitive treatment. Implant treatment in the maxilla was initiated first (Figure 1). At a subsequent surgical session, the remaining mandibular teeth and the non-retainable maxillary teeth were extracted, and implant placement was performed in the mandible. A total of six implants were placed in the maxilla and six implants in the mandible. During treatment planning, special attention was paid to preserving the existing vertical dimension of occlusion and avoiding any reduction in vertical dimension.



Figure 1. Post-implant placement view / radiographic image after implant placement

In the maxilla, the long intercanine distance, insufficient bone quality in the anterior region for additional implant placement, and the patient's preference were taken into consideration. Therefore, the maxillary right central incisor, left central incisor, and left lateral incisor (teeth #11, #21, and #22) were preserved. These teeth were restored with zirconia crowns. The implant-supported restorations were designed as metal-ceramic crowns and fabricated as cement-retained prostheses.

Cement-retained implant restorations were preferred over screw-retained restorations because the severe overjet and overbite created an unfavorable restorative situation for screw-access channel positioning. In such cases, screw-access openings may emerge in esthetically undesirable areas or interfere with the planned occlusal scheme, particularly in the anterior and premolar regions. By contrast, cement-retained restorations offered greater flexibility for achieving appropriate crown contour, occlusal morphology, and a more acceptable esthetic result within the limitations imposed by the sagittal discrepancy.

Following osseointegration, open-tray implant impressions were made, and the definitive prosthetic procedures were initiated. During the metal framework try-in, the space required for porcelain application and the planned anterior inclination of the mandibular teeth were carefully evaluated (Figure 2). Based on these assessments, the restorations were advanced to the porcelain try-in stage. At this stage, esthetics, phonetics, and occlusal relationships were re-evaluated. Occlusal adjustments were performed to establish a functional and stable contact

pattern, with contact being achieved as much as possible beginning from the canine regions, while the limitations created by the severe Class II relationship were respected.



Figure 2. Framework try-in of the maxillary and mandibular implant-supported prostheses.

After final refinements, the restorations were delivered (Figure 3). The individualized use of zirconia for the retained maxillary anterior teeth and metal-ceramic restorations for the implant-supported units allowed the functional and esthetic requirements of different regions to be addressed. At the completion of treatment, the patient's esthetic expectations were satisfied, and a stable full-mouth prosthetic rehabilitation was achieved.



Figure 3. Definitive prostheses at delivery

DISCUSSION

The prosthetic rehabilitation of patients with a severe Class II maxillomandibular relationship requires careful consideration of the pre-existing sagittal discrepancy, available restorative space, occlusal vertical dimension (OVD), and the feasibility of establishing functional contacts without excessively modifying tooth position. A recent systematic review evaluating treatment strategies for patients with Class II Division 2 malocclusion demonstrated considerable variation in restorative protocols and emphasized individualized treatment planning rather than a single standardized approach [8]. Alteration of the OVD is frequently reported when restorative space or occlusal correction is required; however, current evidence does not support

routine alteration of the OVD in every extensive rehabilitation [9]. Furthermore, the selection of the definitive treatment position should be based on the patient's existing occlusal condition and the objectives of the rehabilitation [10]. In the present case, an acceptable vertical relationship was already present; therefore, the existing OVD was maintained rather than increased solely to compensate for the marked overjet and overbite.

Preservation of the remaining maxillary anterior teeth represented another important component of the treatment strategy. Although implant-supported rehabilitation provides predictable outcomes, extraction and replacement with implants should not automatically be considered preferable when natural teeth have a maintainable prognosis. Sarafidou et al. reported that both tooth preservation and implant replacement may provide high long-term survival rates, supporting a tooth-preserving approach when clinically appropriate [11]. In the present patient, insufficient anterior maxillary bone quality for additional implant placement, the increased intercanine distance, and the patient's preference supported preservation of teeth #11, #21, and #22. At the same time, these natural teeth were restored independently from the adjacent implants. Although tooth-implant-supported prostheses may demonstrate clinical outcomes comparable with exclusively implant-supported prostheses, differences in mobility and load transfer between periodontal ligament-supported teeth and osseointegrated implants remain relevant biomechanical considerations [12]. Accordingly, separation of the tooth- and implant-supported units was considered a conservative prosthetic strategy rather than an absolute requirement.

The pronounced sagittal discrepancy also influenced the retention design of the implant-supported restorations. In screw-retained prostheses, the position of the screw-access channel is closely related to implant angulation and the intended prosthetic tooth position. When these axes differ substantially, the access opening may emerge through an unfavorable incisal, facial, or functionally important occlusal surface. Angulated screw-channel systems have been developed specifically to compensate for discrepancies between implant and prosthetic axes, and contemporary systematic reviews have reported promising clinical outcomes with these systems [13,14]. Nevertheless, correction capacity is finite, and increasing angulation may affect mechanical behavior and screw stability [15]. In the present case, the combination of severe overjet and overbite and the required prosthetic tooth position resulted in an unfavorable relationship between implant trajectory and the planned occlusal morphology; therefore, cement-retained metal-ceramic restorations were selected to provide greater flexibility in contouring the definitive prostheses. This decision should not be interpreted as a general contraindication to screw retention in Class II patients, but rather as a case-specific prosthetic choice.

The biological implications of cement retention should nevertheless be considered. Residual subgingival cement may remain undetected following delivery and has been associated with peri-implant soft-tissue inflammation, emphasizing the importance of accessible restorative margins and meticulous cement removal [16]. More recent evidence, however, indicates that cement retention itself does not necessarily result in greater marginal bone loss when prosthetic design and cement removal are appropriately controlled. A 2025 AO/AAP systematic review and meta-analysis found no significant difference in marginal bone loss between screw- and cement-retained implant restorations, while highlighting the importance of other prosthetic

variables such as emergence profile, abutment height, and implant prosthesis design [17]. These findings further support evaluating retention type according to the overall clinical situation rather than considering one method universally superior.

Restorative material selection and occlusal adjustment were similarly individualized according to regional biomechanical and esthetic demands. Recent evidence indicates high short-term survival for both porcelain-fused-to-metal and zirconia implant-supported fixed dental prostheses; however, complication patterns differ according to material and prosthetic design [18]. A 2024 systematic review and meta-analysis comparing zirconia-ceramic and metal-ceramic implant-supported multiunit prostheses reported fewer mechanical complications with metal-ceramic restorations, despite comparable prosthesis survival [19]. Conversely, zirconia-based tooth-supported restorations demonstrate favorable contemporary clinical performance and represent an appropriate option when esthetic requirements are prominent [20]. These findings supported the use of zirconia for the retained maxillary anterior teeth and metal-ceramic restorations for the implant-supported units in the present case. Because ideal anterior contact could not be achieved without excessive compensation for the underlying skeletal discrepancy, framework and porcelain try-in stages were used to evaluate restorative space, anterior tooth inclination, and the developing occlusal scheme. Contemporary literature on implant-supported full-arch prostheses emphasizes that occlusion should be individualized according to biomechanical risk rather than imposed according to a single universal scheme [21]. Accordingly, stable contacts were established as far anteriorly as clinically feasible, beginning primarily from the canine regions, while avoiding excessive alteration of crown morphology solely to compensate for the severe Class II relationship.

CONCLUSIONS

Successful full-mouth rehabilitation in patients with a severe Class II maxillomandibular relationship requires an individualized prosthetic approach that considers the existing jaw relationship, occlusal vertical dimension, implant position, remaining natural teeth, and regional esthetic and functional demands. In the present case, preservation of selected maxillary anterior teeth, separate restoration of tooth- and implant-supported units, and the combined use of zirconia and metal-ceramic restorations enabled functional and esthetic rehabilitation without attempting excessive prosthetic compensation for the underlying skeletal discrepancy. This case highlights the importance of adapting prosthetic design to patient-specific anatomical and biomechanical limitations rather than relying on a uniform restorative strategy.

REFERENCES

1. Drago CJ, Caswell CW. Prosthodontic rehabilitation of patients with Class II malocclusions. *J Prosthet Dent.* 1990;64(4):435-445. doi:10.1016/0022-3913(90)90040-J.
2. Ergun G, Bozkaya E. Full-mouth rehabilitation of Class II deep-bite patient: A 5-year clinical report. *Eur J Dent.* 2016;10(3):426-431. doi:10.4103/1305-7456.184160.
3. Chen C, Wang Y, Wang FF, He XT, Xu BH, Sun Q. Full-mouth rehabilitation for a patient with Angle Class II, Division 2-associated deep overbite and worn dentition: Case report with a 2-year follow-up and literature review. *Int J Prosthodont.* 2025;38(3):339-349. doi:10.11607/ijp.8910.

4. Goldstein G, Goodacre C, MacGregor K. Occlusal vertical dimension: Best evidence consensus statement. *J Prosthodont.* 2021;30(S1):12-19. doi:10.1111/jopr.13315.
5. von Stein-Lausnitz M, Nickenig HJ, Wolfart S, Neumann K, von Stein-Lausnitz A, Spies BC, et al. Survival rates and complication behaviour of tooth implant-supported, fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2019;88:103167. doi:10.1016/j.jdent.2019.07.005.
6. Sailer I, Strasding M, Valente NA, Zwahlen M, Liu S, Pjetursson BE. A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic multiple-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29(Suppl 16):184-198. doi:10.1111/clr.13277.
7. Chen H, Li T, Ng JPZ, Almeheni L, Li KY, Burrow MF. Clinical performance of zirconia-based tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2024;151:105382. doi:10.1016/j.jdent.2024.105382.
8. Ma Y, Zhao W, Zhang S, Jin X, Xu J, Fu B, Shi Y. Treatment decisions of patients with Class II Division 2 malocclusion and severe tooth wear: a systematic review. **BDJ Open.** 2024;10(1):65. doi:10.1038/s41405-024-00248-x.
9. Pissiotis AL, Kamalakidis SN, Kirmanidou Y, Zahari E, Karpouzi R, Michalakis K. EPA Consensus Project Paper: The vertical dimension of occlusion. How to determine and how to alter? A systematic review. **Eur J Prosthodont Restor Dent.** 2023. doi:10.1922/EJPRD_2487Pissiotis13.
10. Kattadiyil MT, Alzaid AA, Campbell SD. The relationship between centric occlusion and the maximal intercuspal position and their use as treatment positions for complete mouth rehabilitation: Best Evidence Consensus Statement. **J Prosthodont.** 2021;30(S1):26–33. doi:10.1111/jopr.13316.
11. Sarafidou K, Lazaridi I, Gotsis S, Kirmanidou Y, Vasilaki D, Hirayama H, Michalakis K. Tooth preservation vs. extraction and implant placement in periodontally compromised patients: A systematic review and analysis of studies. **J Prosthodont.** 2022;31(8):e87–e99. doi:10.1111/jopr.13560.
12. Alsabeeha NHM, Atieh MA. Outcomes and complication rates of the tooth-implant-supported fixed prosthesis: A systematic review and meta-analysis. **Int J Oral Maxillofac Implants.** 2020;35(4):685–699. doi:10.11607/jomi.8091.
13. Rasaie V, Abduo J, Falahchai M. Clinical and laboratory outcomes of angled screw channel implant prostheses: A systematic review. **Eur J Dent.** 2022;16(3):488–499. doi:10.1055/s-0041-1740298.
14. De Angelis P, Rella E, Liguori MG, Piccirillo D, Palmieri A, D'Addona A, Manicone PF. Angulated titanium bases screw channel abutments for single implant restorations: A systematic review and meta-analysis. **J Prosthodont.** 2025;34(3):240–251. doi:10.1111/jopr.14032.
15. Pitman J, Van Craenenbroeck M, Glibert M, Christiaens V. Screw loosening in angulation-correcting single implant restorations: A systematic review of in vitro studies. **J Prosthet Dent.** 2024;132(3):520–527. doi:10.1016/j.prosdent.2022.08.003.
16. Ayyadanveetil P, Thavakkara V, Koodakkadavath S, Thavakkal A. Influence of collar height of definitive restoration and type of luting cement on the amount of residual cement in implant restorations: A clinical study. **J Prosthet Dent.** 2023;129(1):109–115. doi:10.1016/j.prosdent.2021.03.032.

17. Lin GH, Lee E, Barootchi S, Rosen PS, Curtis D, Kan J, Wang HL. The influence of prosthetic designs on peri-implant bone loss: An AO/AAP systematic review and meta-analysis. **J Periodontol.** 2025;96(6):634–651. doi:10.1002/JPER.24-0144.
18. Pjetursson BE, Sailer I, Merino-Higuera E, Spies BC, Burkhardt F, Karasan D. Systematic review evaluating the influence of the prosthetic material and prosthetic design on the clinical outcomes of implant-supported multi-unit fixed dental prosthesis in the posterior area. **Clin Oral Implants Res.** 2023;34(Suppl 26):86–103. doi:10.1111/clr.14103.
19. Tabarak N, Srivastava G, Padhiary SK, Manisha J, Choudhury GK. Zirconia-ceramic versus metal-ceramic implant-supported multiunit fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. **Dent Res J (Isfahan)** 2024;21:5.
20. Chen H, Li T, Ng JPZ, Alamehni L, Li KY, Burrow MF. Clinical performance of zirconia-based tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. **J Dent.** 2024;151:105382. doi:10.1016/j.jdent.2024.105382.
21. Berzaghi A, Testori T, Scaini R, Bortolini S. Occlusion and biomechanical risk factors in implant-supported full-arch fixed dental prostheses—Narrative review. **J Pers Med.** 2025;15(2):65. doi:10.3390/jpm15020065.

THE HEGEMONIC ROLE OF SUSTAINABILITY: URBAN SPRAWL IN THE CONTEXT OF NEOLIBERAL URBANIZATION

Res. Assist. Ahsen Begüm ALTUNTAŞ

Afyon Kocatepe University, Faculty of Arts and Science, Department of Sociology, 03200
Gazlıgöl Road, Afyonkarahisar, Türkiye

ORCID ID: 0000-0000-1700-8480

ABSTRACT

This study aims to re-examine urban sprawl in the context of current urbanization practices. Defined as the irregular, unplanned, low-density, and fragmented spread of urban growth from city centers toward the periphery, urban sprawl is frequently discussed due to its environmental impacts such as land consumption and the conversion of agricultural and natural areas yet there has been insufficient discussion of the discursive and structural frameworks within which sprawl is produced today. Approaching sprawl only through the lens of physical growth and changes in land use may lead to overlooking the discursive frameworks that enable and legitimize this process today. In this context, this study focuses on the relationship between sustainability discourses and urban sprawl processes. Although the sustainability discourse is presented as a tool for reducing environmental problems in urbanization practices, it can also function as a discursive tool used to socially and spatially legitimize certain forms of urban sprawl. In the analysis, which is based on a literature review, definitions and approaches related to urban sprawl were examined, and the spatial consequences of sustainability increasingly becoming a central reference point in urban policies were discussed. The study argues that presenting low-density residential areas—which emerge particularly on the city’s peripheries—through concepts such as green living, integration with nature, eco-friendly living, energy efficiency, and quality of life has relegated the environmental and spatial impacts of urban sprawl to a secondary role. Within this framework, sustainability is regarded as a concept that must be examined from a critical perspective to understand the current forms of urban sprawl. This study aims to contribute to the understanding of urban sprawl as an urbanization practice shaped by economic, political, and discursive processes.

Keywords: Urban Sprawl, Neoliberal Urbanization, Sustainability, Hegemony.

ÖZET

Bu çalışma, kentsel saçaklanmayı güncel kentleşme pratikleri bağlamında yeniden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Kentsel büyümenin kent merkezlerinden çeperlere doğru düzensiz, plansız, düşük yoğunluklu ve parçalı bir biçimde yayılması olarak tanımlanan kentsel saçaklanma, arazi tüketimi, tarım ve doğal alanların dönüşümü gibi çevresel etkileri nedeniyle sıklıkla ele alınsa da saçaklanmanın günümüzde hangi söylemsel ve yapısal çerçeveler içinde üretildiği yeterince tartışılmamaktadır. Saçaklanmanın yalnızca fiziksel büyüme ve arazi kullanımındaki değişim üzerinden ele alınması, günümüzde bu süreci mümkün kılan ve meşrulaştıran söylemsel çerçevelerin gözden kaçırılmasına neden olabilmektedir. Bu bağlamda çalışma, sürdürülebilirlik söylemlerinin kentsel saçaklanma süreçleriyle kurduğu ilişkiye odaklanmaktadır. Sürdürülebilirlik söylemi kentleşme pratiklerinde her ne kadar çevresel sorunları azaltmaya yönelik bir araç olarak sunulsa da aynı zamanda belirli saçaklanma biçimlerinin toplumsal ve mekânsal olarak meşrulaştırılmasında kullanılan bir söylemsel araç olarak da işleyebilmektedir. Literatür taramasına dayalı olarak yürütülen analizde, kentsel saçaklanmaya ilişkin tanımlar ve yaklaşımlar incelenmiş; sürdürülebilirliğin kent

politikalarında giderek merkezî bir referans hâline gelmesinin mekânsal sonuçları tartışılmıştır. Çalışma, özellikle kent çeperlerinde ortaya çıkan düşük yoğunluklu konut alanlarının, yeşil yaşam, doğayla bütünleşme, çevre dostu yaşam, enerji verimliliği ve yaşam kalitesi gibi kavramlar aracılığıyla sunulmasının saçaklanmanın çevresel ve mekânsal etkilerini ikincil hâle getirdiğini ileri sürmektedir. Bu çerçevede sürdürülebilirlik, kentsel saçaklanmanın güncel biçimlerini anlamak için eleştirel bir perspektifle ele alınması gereken bir kavram olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmayla kentsel saçaklanmanın ekonomik, politik ve söylemsel süreçler tarafından şekillendirilen bir kentleşme pratiği olarak ele alınmasına katkı sunulması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Kentsel Saçaklanma, Neoliberal Kentleşme, Sürdürülebilirlik, Hegemonya.

INTRODUCTION

Urban sprawl is defined as a form of urban growth involving the physical transformation of non-urban land to create an urban fabric. This phenomenon typically occurs on the outskirts of cities, which are characterized by low density and a rural character, leading to the gradual blurring of a city's spatial boundaries. In this context, the destruction or loss of rural areas and natural ecosystems resulting from the continuous expansion of urban land use has become one of the key issues widely discussed in the literature (Paul and Meyer, 2001). As urbanization expands its sphere of influence and spreads into rural and natural areas, it makes the tension between urban development and environmental sustainability more visible and places sustainability debates at the center of this discourse.

In recent years, the fact that new residential and living spaces particularly those built on the urban periphery are marketed with slogans such as “in harmony with nature,” “integrated with nature,” “sustainable,” and “ecological” indicates that urban sprawl points to a more complex process that cannot be explained solely by a lack of planning or oversight. While such projects reveal that contemporary forms of urban sprawl are intertwined with market mechanisms, consumption practices, and lifestyle choices, they also necessitate a reevaluation of the relationship between urban sprawl and capitalism a relationship often overlooked in the literature. This situation highlights the need to view urban sprawl not merely as a spatial or environmental issue, but as an urbanization practice with political and ideological dimensions. There are numerous studies in the literature focusing on the environmental impacts of urban sprawl. The expansion of the urban fabric toward the city's periphery can lead to multidimensional ecological problems, such as the loss of agricultural land, the destruction of forests and wetlands, a decline in biodiversity, and an increase in carbon emissions (Liu et al., 2014). In response to these issues, sustainability discourses have gained prominence in urban and planning policies, particularly since the 1990s. Today, sustainability is widely embraced in the context of increasing environmental risks on a global scale and the acceleration of urbanization with the aim of improving quality of life while preserving ecological balance and managing urban growth.

However, sustainability's central role in urbanization processes also necessitates a critical reevaluation of the concept. The hegemonic rise of sustainability in the context of neoliberal urbanization diminishes the visibility of the environmental and spatial contradictions of urban sprawl and legitimizes this expansive form of urbanization. While Harvey and Brenner's analyses of neoliberal urbanization reveal that urban space is reproduced in line with processes of capital accumulation, Gramsci's concept of hegemony and Laclau and Mouffe's theory of

discourse explain how sustainability has become a discourse that produces consent in this process. In this context, the central question addressed in this study is how sustainability functions not merely as a solution-oriented discourse but as a mechanism for legitimizing and spreading urban sprawl. In the urban peripheries where sprawl is most intense, new living spaces marketed through sustainability-based environmental sensitivity discourses reveal the legitimizing and ideological function of the sustainability discourse within processes of capital accumulation and neoliberal urbanization.

In this context, it does not seem sufficient to view urban sprawl merely as a form of spatial growth whose environmental impacts must be limited. The ways in which contemporary forms of sprawl are interpreted and legitimized through discourses such as sustainability, ecology, and living in harmony with nature necessitate that the political and ideological dimensions of urbanization processes also be taken into account. In this context, this study aims to critically examine the relationship between urban sprawl and sustainability through the lens of neoliberal urbanization, capital accumulation, and the reproduction of space. The primary objective of the study is to demonstrate that the discourse of sustainability can function as an ideological tool in legitimizing specific forms of spatial development and expansion.

THEORETICAL FRAMEWORK

URBAN SPRAWL

In urban literature, the phenomenon of urban sprawl is predominantly defined as the haphazard, unplanned, and uncontrolled expansion of cities into their surrounding areas as a result of industrialization, rapid urbanization, population growth, and technological advancements. Table 1 provides a comparative evaluation of the definitions and approaches to the concept of urban sprawl developed in the literature across different periods, highlighting the conceptual and definitional evolution of the concept over time.

Table 1. Definitions and Approaches in the Literature on Urban Sprawl

Author (Year)	Definition / Approach	Key Point
Clawson (1962)	By considering urban sprawl as a form of growth in metropolitan cities, it defines it as the process by which the population concentrated in the city center spreads to the city's periphery alongside developments in transportation and infrastructure.	Population growth, transportation, and infrastructure developments
Harvey & Clark (1965)	It defines urban sprawl areas as unplanned, decentralized, low-density, and automobile-dependent residential areas.	Lack of planning and automobile dependency
Kıray (1982)	In the context of developing countries, areas that have urbanized outside the scope of urban planning laws around existing settlements are defined as urban sprawl.	Urban law
Nelson & Duncan (1995)	It defines urban sprawl as settlement areas characterized by uniform land use, low population density, and scattered, patchy development.	Land use, low density
Keleş (1998)	It defines the concept of "urban sprawl" as "urban depopulation" and explains it as the migration of the urban population to suburban areas due to excessive densification and advances in transportation technology.	Demographics and transportation
Brueckner (2000)	By distinguishing urban sprawl from urban growth, it defines urban sprawl as the expansion of a city resulting from population growth in a low-density manner that leaves gaps in between.	Demographics and low density
Squires (2002)	It views urban sprawl as a low-density, automobile-dependent form of urban development that occurs in areas between urban and rural areas.	Suburban development and

		automobile dependency
Glaeser & Kahn (2003)	It emphasizes that urban sprawl is linked to development policies and arises from a automobile-dependent lifestyle and in low-density, outlying areas.	Politics and lifestyle
Morris (2005)	It lists the multidimensional characteristics of urban sprawl, such as low density, scattered development, automobile dependency, loss of agricultural land, and inadequate public transportation.	Environmental and social impacts
Bruegmann (2006)	It views urban sprawl as a historical urbanization process resulting from technological advancements and, in particular, the widespread use of automobiles.	Technological advances and automobile dependency
Aydin (2016)	It defines urban sprawl as the scattered expansion of a city, with gaps left in between, before it achieves a compact structure.	Process-oriented approach
OECD (2018)	By distinguishing the causes and consequences of urban sprawl, it defines it as a form of urban growth characterized by sporadic development, low density, and a decentralized nature.	Measurable criteria
Chen vd. (2019)	By examining urban sprawl in the context of sustainable development and global environmental change, this study assesses the eco-environmental impacts of sprawl through the Pressure–State–Response (PSR) framework.	Eco-environmental impacts and sustainable development
Rubiera-Morollan & Garrido-Yserte(2020)	It examines urban sprawl as a form of low-density, dispersed, and ill-defined urban development; it assesses the impacts of this development model on environmental, economic, and social sustainability.	Urban sustainability and the compact city approach
Bueno-Suárez & Coq-Huelva (2020)	It examines urban sprawl as a form of urbanization that produces economic, social, and environmental consequences and is linked to processes of capital accumulation and urban governance; it argues that sustainability policies aim to make this development model more sustainable without altering the fundamental spatial characteristics of sprawl.	Sustainability policies and capital accumulation
Silva & Ma (2021)	It discusses the environmental values of the intermediate spaces created by the fragmentation of the landscape resulting from encroachment, as well as the potential of these areas to contribute to the creation of more sustainable, encroached landscapes.	Interstitial spaces and environmental sustainability
Reena & Yadav (2023)	By framing urban sprawl as the uncontrolled growth of cities, the study examined its multidimensional impacts on environmental sustainability—including air quality, water resources, green spaces, and biodiversity.	Sustainability and environmental impacts
Dadashpoor & Shahhossein (2024)	It examines urban sprawl as a multidimensional phenomenon of urbanization in the context of growth models, processes, actors, and spatial patterns.	A multidimensional approach
Asibey vd. (2024)	It evaluates urban sprawl from the perspective of sustainable urban development; it discusses not only the environmental and social costs of sprawl but also its economic and social consequences in specific contexts.	Sustainable urban development
Wen vd. (2024)	By examining urban sprawl in the context of low-carbon urban development and environmental sustainability, this study investigates the effects of sprawl on carbon emission efficiency.	Carbon emissions and environmental sustainability

An examination of the definitions of urban sprawl presented in Table 1 reveals that the concept does not have a singular, universally agreed-upon framework of meaning in the literature. Urban sprawl has been approached in different periods and under different contextual

conditions sometimes as a natural consequence of urban growth, sometimes as a specific urban form, and sometimes as a multidimensional urbanization process shaped by political, economic, and technological dynamics. The various definitions and approaches to sprawl mentioned above indicate that urban sprawl should be evaluated not only as a spatial phenomenon but also as a complex process with social, environmental, and administrative dimensions (Altuntaş, 2025, pp. 37–38).

In early studies, urban sprawl was primarily addressed in the context of cities' physical growth processes. Authors such as Clawson (1962) and Harvey and Clark (1965) defined sprawl as the spread of a population concentrated in the city center to the city's periphery, accompanied by the development of transportation and infrastructure; they emphasized spatial characteristics such as low density, decentralization, and automobile dependency. Although this approach views sprawl as a problematic form of urbanization from a planning perspective, the concept's environmental or sustainability dimensions have not yet become a prominent area of discussion. Studies conducted in the 1980s and 1990s began to address urban sprawl not only in terms of physical growth but also within institutional, legal, and social contexts. Kıray's (1982) definition, developed in the context of developing countries, reveals that sprawl is a form of urbanization that occurs outside the scope of urban law, often involving an intertwining of legal and illegal processes. Similarly, Nelson and Duncan (1995) and Keleş (1998) analyzed sprawl through the lens of uniform land use, low density, and suburbanization processes; they emphasized that these processes weaken the spatial integrity of cities. In studies from this period, sprawl was primarily addressed as a problem from the perspective of urban planning and management.

Starting in the 2000s, the political, economic, and lifestyle dimensions of urban sprawl have become more prominent in the literature. Authors such as Brueckner (2000), Squires (2002), and Glaeser and Kahn (2003) have examined sprawl by linking it to development policies, land markets, and automobile-dependent lifestyles. This approach demonstrates that sprawl is not a spontaneous or unplanned process, but rather a form of urbanization shaped by specific policy choices and economic interests. At this point, sprawl began to be viewed as a phenomenon linked to neoliberal urbanization dynamics.

In the current literature, however, definitions of urban sprawl are seen to be more directly linked to discussions of sustainability. The OECD (2018) and subsequent academic studies define sprawl as a form of low-density, patchy, and decentralized urban growth, while focusing on the impacts of this form on environmental, social, and economic sustainability. In particular, factors such as the loss of agricultural land, the overuse of natural resources, increased carbon emissions, and automobile dependency stand out as aspects of sprawl that conflict with sustainable urban goals. Reena and Yadav's (2023) study, based on the case of Delhi, highlights the negative effects of sprawl on air quality, water resources, green spaces, and biodiversity, demonstrating that sprawl poses serious risks in terms of environmental sustainability. This study evaluates urban sprawl not merely as uncontrolled spatial expansion but also as a form of urbanization directly linked to the overexploitation of natural resources and the disruption of ecological balance. Similarly, a comprehensive literature review conducted by Rubiera-Morollón and Garrido-Yserte (2020) highlights the growing academic consensus that low-density and dispersed urban development has negative effects on environmental efficiency and sustainability. Finally, the study by Dadashpoor and Shahhossein (2024) categorizes more than 130 definitions of urban sprawl, revealing the concept's multidimensional nature; in this context, it defines sprawl in terms of spatial patterns, processes, actors, and driving factors.

Bueno-Suárez and Coq-Huelva (2020) view sprawl as a form of urbanization that produces economic, social, and environmental consequences, while also being linked to processes of capital accumulation and urban governance. The authors point out that sustainability policies often aim to make the existing urban development model more sustainable by retroactively mitigating its negative consequences, rather than transforming its fundamental spatial characteristics such as low density, sprawl, and fragmentation.

Similarly, Silva and Ma (2021) focus on the environmental values of undeveloped interstitial spaces resulting from land fragmentation. This study demonstrates that the ecological functions and environmental potential of interstitial spaces emerging in the context of urban sprawl can be taken into account in the creation of more sustainable sprawled landscapes. Asibey et al. (2024) evaluate the effects of sprawl on sustainable urban development, considering not only environmental and social costs but also economic and social outcomes. Wen et al. (2024), on the other hand, address urban sprawl in the context of low-carbon urban development, focusing on the effects of urban sprawl on carbon emission efficiency. These studies demonstrate that the sustainability discourse has recently moved beyond ecological impacts to be more directly linked to climate change, carbon reduction, and low-carbon urbanization goals.

The sustainability perspective in these studies largely treats urban sprawl as a spatial problem whose environmental impacts need to be mitigated. Consequently, the central debate in the current literature revolves largely around the question, “How can sprawl be made more sustainable?” At this point, a significant gap in the literature becomes apparent. Is sustainability merely a policy and implementation framework aimed at reducing the negative impacts of sprawl, or does it involve accepting new forms of urban sprawl through discourses such as “green,” “nature-friendly,” “ecological,” “low-density,” and “high quality of life”? Building on this gap, this study aims to discuss how the discourse of sustainability beyond serving as an environmental framework developed in response to urban sprawl can contribute to the legitimization and reproduction of specific forms of spatial expansion within the processes of neoliberal urbanization and capital accumulation.

NEOLIBERAL URBANIZATION AND THE HEGEMONIC RISE OF SUSTAINABILITY

Neoliberalism, which emerged as a contemporary phase of capitalism in the 1970s as a result of the dismantling of Keynesian welfare state policies (Brenner and Theodore, 2002), has also significantly altered the function of cities. Neoliberal policies have led to the reshaping of cities according to market logic, transforming them into centers of global competition and investment and into instruments of capital processes. Keleş et al. (2025, p. 309) define this phenomenon, referred to as neoliberal urbanization, as the intensification of neoliberal policies, capitalism, and consumer culture through urban spaces and the subsequent reshaping of cities in line with these dynamics.

According to Harvey, the capitalist system’s crises of overaccumulation are temporarily resolved through urban investments and infrastructure projects; this turns cities into the primary arena for rent extraction and speculative investments. In this sense, neoliberal urbanization is characterized by the transfer of public resources to private capital, the commodification of urban land, and the deepening of spatial inequalities (Harvey, 2019, pp. 88–89).

Brenner (1999, pp. 433–434) explains neoliberal urbanization through the concepts of the politics of scale and rescaling. According to Brenner, neoliberalism refers to the process of restructuring the state at the urban and regional levels. In this context, cities are becoming the primary venues for the implementation of neoliberal policies; planning, infrastructure, and development policies are being reorganized in a market-oriented manner. Brenner defines this

process as “globalization as reterritorialization,” arguing that global capital flows are concentrated in specific urban spaces and that unequal spatial development has become institutionalized.

In the context of neoliberal urbanization, the discourse on sustainability is often framed through concepts such as “green growth,” “smart city,” “ecological design,” and “living in harmony with nature.” While these discourses, grounded in a claim of environmental sensitivity, pave the way for the legitimization of capital-driven projects, the sustainability discourse itself serves an ideological function by obscuring the structural contradictions of neoliberal urbanization. The fact that sustainability has become a hegemonic discourse in urban policies and its purported ability to address the environmental damage caused by neoliberal urbanization prevents urban transformation and restructuring processes from being evaluated from a critical perspective. In particular, new residential areas marketed as low-density, nature-integrated, and eco-friendly are presented as environmental solutions within the context of the sustainability discourse. However, these projects often increase land consumption, reinforce automobile dependency, and deepen spatial inequalities.

Antonio Gramsci’s concept of hegemony provides an important theoretical foundation for explaining this process. According to Gramsci (1971, p. 12), hegemony is established through the production of social consent. In the context of neoliberal urbanization, the discourse on sustainability paves the way for the production of social consent and the legitimization of certain urbanization and development practices by invoking values such as environmental sensitivity, the protection of future generations, and quality of life. In this way, market-oriented urban projects and the reorganization of urban space in line with capital accumulation become forms of urban transformation that are accepted and even desired by society without being questioned.

Ernesto Laclau and Chantal Mouffe’s theory of discourse is also illuminating for understanding the hegemonic rise of sustainability. According to this approach, hegemonic discourses are constructed around “empty signifiers” whose meaning is not fixed (Laclau, 2006). In this context, sustainability can function as an empty signifier with an indeterminate content one that is flexible and can be filled in different ways by various actors (Gunder and Hillier, 2009, p. 1). In the process of neoliberal urbanization, sustainability can render conflicts invisible by uniting sometimes contradictory goals such as environmental sensitivity, economic growth, and technological innovation within the same discursive framework. This situation transforms sustainability from a critical political concept into a hegemonic discourse that encompasses everyone but offends no one.

Consequently, the hegemonic rise of sustainability can be viewed as a discursive and managerial strategy developed by neoliberal urbanization at the point where it encounters environmental limits. In this context, rather than offering an alternative to neoliberal urbanization, sustainability reproduces it by transforming its crises into manageable, measurable, and technical problems. For this reason, sustainability is a political concept that must be analyzed within the framework of processes of hegemony, discourse, and depoliticization.

CONCLUSION

By examining urban sprawl within the framework of sustainability discourses and neoliberal urbanization, this study demonstrates that sprawl points to an urbanization process linked to political, economic, and ideological dimensions. Theoretical discussions show that

sustainability can be functionalized in a manner consistent with neoliberal urbanization practices. In this context, urban sprawl should be viewed not merely as a phenomenon attributable to a lack of planning or control, but as a spatial strategy legitimized through sustainability discourses. The study argues that approaches to urban sprawl focused on environmental impacts fall short of revealing the power relations and discursive processes underlying the phenomenon. Therefore, rethinking the concept of sustainability from a critical perspective within the context of urbanization is crucial for understanding the social and spatial consequences of urban growth processes.

In conclusion, this study offers a critical contribution to the literature on urban sprawl, emphasizing the need for a more holistic approach to the relationships between neoliberal urbanization, sustainability, and spatial expansion. It is believed that future studies, by discussing this theoretical framework across different scales and through empirical examples, will help to shed deeper light on the current dynamics of urban sprawl.

REFERENCES

- Altuntaş, A. B. *Kentsel Saçaklanmanın Kırsalın Dönüşümündeki Rolü: Afyonkarahisar İli Erenler Mahallesi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2025.
- Asibey, M. O., Osei, D. A., Doe, B., & Agyei, F. (2024). Rethinking the implications of sprawl for sustainable urban development: Insights from the Ejisu Municipality of Ghana between 2003 and 2023. *Habitat International*, 152, 103161. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103161>
- Aydın, N. (2016). Kentsel Saçaklanmanın Kent Örüntüsü Üzerindeki Etkisi; Isparta Örneği, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bueno-Suárez, C., & Coq-Huelva, D. (2020). Sustaining what is unsustainable: A review of urban sprawl and urban socio-environmental policies in North America and Western Europe. *Sustainability*, 12(11), 4445. <https://doi.org/10.3390/su12114445>
- Brenner, N., & Theodore, N. (2002). Cities and the Geographies of “Actually Existing Neoliberalism”. *A Radical Journal of Geography*, 34(3), 349-379. <https://doi.org/10.1111/1467-8330.00246>
- Brenner, N. (1999). Globalisation as reterritorialisation: The re-scaling of urban governance in the European Union. *Urban Studies*, 36(3), 431–451. <https://doi.org/10.1080/0042098993466>
- Brueckner, J. K. (2000). Urban Sprawl: Diagnosis and Remedies. *International Regional Science Review*, 23(2), 160-171. <https://doi.org/10.1177/016001700761012710>
- Bruegmann, R. (2006). *Sprawl: A Compact History*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1111/J.1468-2257.2007.00357.4.X>
- Chen, D., Lu, X., Liu, X., & Wang, X. (2019). Measurement of the eco-environmental effects of urban sprawl: Theoretical mechanism and spatiotemporal differentiation. *Ecological Indicators*, 105, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.059>
- Clawson, M. (1962). Urban Sprawl and Speculation in Suburban Land. *Land Economics*, 38(2), 99-111. <https://www.jstor.org/stable/3144612>
- Cristian Silva & Jing Ma (2021) A Sustainable Urban Sprawl?, *disP - The Planning Review*, 57:3, 50-67. <https://doi.org/10.1080/02513625.2021.2026667>
- Dadashpoor, H. & Shahhossein, G. (2024). Defining urban sprawl: A systematic review of 130 definitions. *Habitat International*, 146, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103039>

- Glaeser, E. L., & Kahn, E. M. (2003). Sprawl and Urban Growth. In V. Henderson & J. F. Thisse (Eds.), *Handbook of Urban and Regional Economics*, 2481-2527. <https://doi.org/10.2139/ssrn.405962>
- Gunder, M. and Hillier, J. (2009) *Planning in Ten Words or Less: A Lacanian Entanglement with Spatial Planning*. Farnham: Ashgate.
- Gramsci, A., 1971. *Selections from the prison notebooks*. In: Hoare, Q., Smith, G. (Eds.), International Publishers, New York.
- Harvey, R., & Clark, W. (1965). The Nature and Economics of Urban Sprawl. *Land Economics*, 41(1), 1-9. <https://www.jstor.org/stable/3144884>
- Keleş, R. (1998). *Kentbilim Terimleri Sözlüğü*. İmge Kitabevi.
- Keleş, R., Ulusoy, G. ve Güneş, P. (2025). Neo-liberal Mekansal Politikaları Mega Projeler Bağlamında Yeniden Düşünmek: Kanal İstanbul Örneği, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 80(2), 305-326.
- Kıray, M. (1982). *Toplumbilim Yazıları*. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları.
- Laclau, E. (2006) 'Ideology and post-Marxism', *Journal of Political Ideologies* 11(2), pp. 103–114.
- Morris, D. E. (2005). *It's a Sprawl World After All: The Human Cost of Unplanned Growth – and Visions of A Better Future*. Gabriola, BC: New Society Publishers.
- Nelson, A., & Duncan, J. (1995). *Growth Management Principles and Practices*. Routledge.
- OECD. (2018). *Rethinking Urban Sprawl: Moving Towards Sustainable Cities*. OECD Publishing.
- Reena & Yadav, S. (2024). Impact of Urban Sprawl on Environmental Sustainability in Delhi, Analyzing the Effects of Rapid Urbanisation on Air Quality, Water Resources, Green Spaces and Biodiversity. *Multidisciplinary, Scientific Work and Management Journal*, 33(1), 201-211. <https://mswmanagementj.com/index.php/home/article/view/124>
- Rubiera-Morollon, F. & Garrido-Yserte, R. (2020). Recent Literature about Urban Sprawl: A Renewed Relevance of the Phenomenon from the Perspective of Environmental Sustainability. *Sustainability*, 12(16) 1-14. <https://doi.org/10.3390/su12166551>
- Squires, G. D. (2002). *Urban Sprawl: Causes, Consequences and Policy Responses*, Washington DC: The Urban Institute Press.
- Wen, H., Yu, H., & Nghiem, X.-H. (2024). Impact of urban sprawl on carbon emission efficiency: Evidence from China. *Urban Climate*, 55, 101986. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101986>

INVESTIGATION OF THE FLEXURAL BEHAVIOR OF GLASS AND BASALT FIBER-REINFORCED GEOPOLYMER CONCRETES AFTER HIGH-TEMPERATURE EXPOSURE

Lecturer Serpil AĞIRMAN

Erzurum Technical University, 25050 Erzurum, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-3522-3269

Assoc. Prof. Dr. Barış BAYRAK

Kafkas University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil

Engineering, 36100 Kars, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-7438-1227

Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 25240

Erzurum, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-6696-4297

ABSTRACT

Fiber reinforcement plays a prominent role in enhancing the mechanical performance of geopolymer concrete exposed to high temperatures. In this study, two different geopolymer concrete mixtures containing glass or basalt fiber at a volume fraction of 1% were prepared, and prismatic specimens with dimensions of $30 \times 60 \times 300$ mm were produced. The prepared specimens were exposed to temperatures of 200, 400, and 600 °C for 120 min and compared with reference specimens kept at 20 °C. Three-point bending tests were conducted to determine the mechanical behavior of the specimens. The experimental results showed that increasing temperature resulted in reductions in both the maximum load capacity and the corresponding displacement values of the glass and basalt fiber-reinforced geopolymer specimens. Furthermore, the glass fiber-reinforced specimens exhibited higher maximum load and displacement values than the basalt fiber-reinforced specimens at all temperature levels. In addition, the capacity loss associated with increasing temperature was more pronounced in the basalt fiber-reinforced specimens. The experimental results demonstrate that fiber type significantly influences flexural behavior after high-temperature exposure and that glass fiber-reinforced specimens exhibited higher mechanical performance than basalt fiber-reinforced specimens.

Keywords: Geopolymer concrete, glass fiber, basalt fiber, high temperature, flexural behavior

1. INTRODUCTION

After water, concrete is the most widely used material globally. It is estimated that approximately 30 billion tons of concrete are used worldwide each year (Zaland et al., 2026). Concrete is used as the primary material in the construction of numerous structures, such as buildings, bridges, highways, dams, and industrial facilities (Aldanish, 2026). The demand for concrete and, consequently, cement is expected to increase further in the coming years. According to data from the World Cement Association (WCA), demand for concrete (and consequently cement) is projected to increase by 77% in Sub-Saharan Africa, 42% in India, and 20% in North America between 2024 and 2030 (Li et al., 2026).

Cement production alone accounts for approximately 7–8% of global CO₂ emissions. Furthermore, cement production contributes to environmental problems due to its high energy consumption and heavy reliance on natural resources (Al-Janabi et al., 2026). Therefore, geopolymer concrete (GPC) has emerged as an alternative to conventional Portland cement concrete to reduce the environmental impact of cement and improve the engineering properties of concrete (Hamada et al., 2025). Geopolymers are inorganic polymers produced through the alkaline activation of aluminosilicate-based precursor materials (Hanafi et al., 2026). In addition to providing high strength and durability, geopolymer binders exhibit resistance to chemical attack and degradation caused by high temperatures. Moreover, the use of geopolymers instead of conventional Portland cement can reduce CO₂ emissions by 80–90%. In the production of GPC, natural materials such as volcanic ash and kaolinite are utilized in addition to industrial wastes such as fly ash, silica fume, and steel slag. These precursor materials are activated using alkaline activators such as sodium silicate and sodium hydroxide, resulting in the formation of an aluminosilicate gel that contributes to improved mechanical and physical properties. (Kishore et al., 2025).

Activated by sodium silicate and sodium hydroxide-based alkaline activators, these materials form an aluminosilicate gel, thereby exhibiting enhanced mechanical and physical properties (Kishore et al., 2025).

The geopolymerization process begins with the dissolution of aluminosilicate-based precursor materials in an alkaline activator solution, resulting in the formation of silicate and aluminate monomers. These monomers subsequently form oligomers containing Si-O-Al bonds, which then develop into a three-dimensional binder gel network through structural rearrangement, water release, and polycondensation reactions. While the primary binder phase in geopolymers is generally Na/K-Al-Si-H gel, the main binder phase in Portland cement is C-S-H gel (Aalipour and Moosavi, 2026). Physical and chemical changes occurring in this binder gel structure under high-temperature exposure may positively affect the mechanical properties and thermal resistance of the material.

Additionally, fiber reinforcement is an effective method for controlling cracks and mitigating strength loss resulting from exposure to high temperatures. With properties such as high tensile strength, low density, resistance to chemical agents, and relatively low cost, glass fiber serves as a promising reinforcement material for geopolymer-based composites. These fibers create a bridging effect within the matrix, thereby inhibiting the coalescence and propagation of microcracks (Wu et al., 2026).

Basalt fibers are another reinforcement material used to enhance the performance of the geopolymer matrix. They are widely used in geopolymer composites due to their high tensile strength, low density, resistance to chemical agents, and stability under high-temperature exposure. By creating a bridging effect within the matrix, they promote a more uniform distribution of stresses, thereby mitigating brittle fracture behavior (Shen et al., 2026).

The aim of this study is to investigate the flexural behavior of glass or basalt fiber-reinforced, blast furnace slag-based geopolymer elements following high-temperature exposure. The specimens prepared for this purpose were exposed to temperatures of 200, 400, and 600°C for 120 min, and the obtained results were compared with those of reference specimens at 20°C. Following high-temperature exposure, the mechanical behavior of the specimens was evaluated through three-point bending tests, and the fiber-type-dependent performance changes at different temperature levels were analysed.

2. MATERIALS AND METHODS

In the experimental study, two blast furnace slag-based geopolymer mixtures, designated as M1 and M2, were prepared to investigate the effect of fiber type on the flexural behavior following high-temperature exposure. Both mixtures contained 750 kg/m³ of granulated blast furnace slag (GBFS), 60 kg/m³ of water, 221 kg/m³ of quartz powder, and 489 kg/m³ of marble powder. As alkali activators, 169 kg/m³ of NaOH and 394 kg/m³ of Na₂SiO₃ were used. In addition, 26 kg/m³ of glass fiber was used in the M1 mixture, while 28 kg/m³ of basalt fiber was used in the M2 mixture, corresponding to a fiber volume fraction of 1%. The materials and their quantities used in the M1 and M2 mixtures are presented in Table 1.

Table 1. Geopolymer mixture proportions (kg/m³)

	GBFS	Water	Quartz Powder	Marble Powder	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Glass Fiber	Basalt Fiber
M1	750	60	221	489	169	394	26	-
M2	750	60	221	489	169	394	-	28

Table 2 shows the chemical compositions of GBFS and quartz powder. The high contents of CaO, SiO₂, and Al₂O₃ in GBFS, indicate that the material is rich in calcium and aluminosilicate components.

Table 2. Chemical composition of GBFS and quartz

%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI
GBFS	37.0	33.2	19.8	0.6	8.7	0.3	0.3	0.4	0.2
Quartz Powder	53.6	0.4	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	-

Two different types of fibers were used in the experimental study. The physical and mechanical properties of the glass and basalt fibers used in this study are presented in Table 3. The glass fibers have a diameter of 0.35 mm, a length of 24 mm, a tensile strength of 3100 MPa, a density of 2.60 g/cm³, and an elastic modulus of 72 GPa, while the basalt fibers have a diameter of 0.38 mm, a length of 28 mm, a tensile strength of 4500 MPa, a density of 2.80 g/cm³, and a modulus of elasticity of 88 GPa.

Table 3. Technical properties of glass and basalt fibers

Property	Glass Fiber	Basalt Fiber
Diameter (mm)	0.35	0.38
Length (mm)	24	28
Tensile strength (MPa)	3100	4500
Density (g/cm³)	2.60	2.80
Young's Modulus (GPa)	72	88

In the study, prismatic specimens with dimensions of 30 x 60 x 300 mm were produced from the M1 and M2 mixtures. Seven days after production, the specimens were subjected to high-temperatures exposure. Glass fiber-reinforced M1 and basalt fiber-reinforced M2 specimens were exposed to temperatures of 200, 400, and 600 °C for 120 min. In addition, reference specimens were kept at 20 °C to facilitate a better comparison. Table 4 presents the specimen codes for the experimental groups, together with the after applied temperature levels and exposure durations.

Table 4. Temperature levels and exposure durations for the specimens

Specimen ID	Mixture	Temperature(°C)	Exposure Duration (Min)
R-G	M1	20	120
R-G-200	M1	200	120
R-G-400	M1	400	120
R-G-600	M1	600	120
R-B	M2	20	120
R-B-200	M2	200	120
R-B-400	M2	400	120
R-B-600	M2	600	120

Three-point bending tests were conducted to investigate the flexural behavior of specimens exposed to high temperatures. The tests were performed under displacement control at a loading rate of 0.5 mm/min. During the tests, the specimens were placed on two supports, and the load was applied vertically at the midpoint of the span. The deformation, crack formation, and fracture patterns of the specimens were monitored throughout the testing process. The three-point bending test setup is illustrated in Figure 1.


Figure 1. Three-point bending test setup

3. RESULTS AND DISCUSSION

Three-point bending tests were conducted to determine the mechanical performance of glass and basalt fiber-reinforced geopolymers concrete specimens following high-temperature exposure, and the obtained results are discussed in this section. The flexural behavior of the specimens was assessed by considering the maximum and ultimate load values, as well as the corresponding displacements. Additionally, the influence of fiber type on flexural behavior was examined by comparing the performance of glass and basalt fiber-reinforced specimens following high-temperature exposure. The experimental results are presented in Table 5.

Table 5. Flexural test results of geopolymers specimens

Specimen ID	P _{max} (kN)	Δ _{max} (mm)	P _u (kN)	Δ _u (mm)
R-G	1,09	5,4	0,17	8,34
R-G-200	0,54	3,10	0,11	3,35
R-G-400	0,39	2,82	0,13	2,95
R-G-600	0,27	2,63	0,15	2,69
R-B	0,78	4,42	0,20	6,15

R-B-200	0,19	2,05	0,18	3,86
R-B-400	0,15	1,72	0,10	2,48
R-B-600	0,10	1,31	0,07	1,76

Load and displacement values were utilized to evaluate the flexural behavior of the specimens. In this context, P_{max} represents the maximum load capacity, Δ_{max} the displacement corresponding to the maximum load, P_u the ultimate load, and Δ_u the displacement corresponding to the ultimate load. These parameters were used to compare the mechanical behavior of the specimens as a function of temperature and fiber type.

When the flexural performance of the specimens tested at the reference temperature of 20°C was examined, the glass fiber-reinforced R-G specimen carried a load of 1.09 kN, whereas the basalt fiber-reinforced R-B specimen carried a load of 0.78 kN. These values indicate that the glass fiber-reinforced specimen exhibited a maximum load-bearing capacity approximately 39.7% higher than that of the basalt fiber-reinforced specimen. In addition, the displacements corresponding to the maximum load were measured as 5.40 mm and 4.42 mm for the R-G and R-B samples, respectively. The obtained results indicate that the use of glass fiber provided a higher flexural performance in the reference specimen.

A gradual decrease in maximum load capacity was observed in glass fiber-reinforced specimens with increasing temperature. The maximum load of the reference R-G specimen was 1.09 kN, whereas values of 0.54 kN, 0.39 kN, and 0.27 kN were obtained at 200, 400, and 600°C, respectively. Compared to the reference specimen, these values correspond to reductions of approximately 50.5%, 64.2%, and 75.2%, respectively. The displacement corresponding to the maximum load decreased from 5.40 mm in the reference specimen to 2.63 mm at 600°C. These results indicate that high temperature exposure adversely affected the flexural performance of the glass fiber-reinforced geopolymer concrete specimens.

Similar to the glass fiber-reinforced specimens, a decrease in maximum load capacity was also observed in the basalt fiber-reinforced specimens with increasing temperature. The maximum load value of the reference R-B specimen was 0.78 kN, while values of 0.19 kN, 0.15 kN, and 0.10 kN were obtained at 200, 400, and 600°C respectively. Compared with the reference specimen, reductions of 75.6%, 80.8%, and 87.2% in maximum load capacity were observed. A similar trend was also observed in the displacement values. In the basalt fiber-reinforced specimens, the displacement corresponding to the maximum load decreased from 4.42 mm in the reference specimen to 1.31 mm at 600°C. The obtained results indicate that the flexural performance of basalt fiber-reinforced geopolymer concrete decreased under high-temperature exposure.

When the behavior of glass and basalt fiber-reinforced specimens was evaluated as a function of temperature, the glass fiber-reinforced specimens exhibited better performance than the basalt fiber-reinforced specimens at all temperature levels. The glass fiber-reinforced specimens retained 49.5%, 35.8%, and 24.8% of their reference maximum load capacity at 200, 400, and 600°C, respectively. In the basalt fiber-reinforced specimens, these ratios decreased to 24.4%, 19.2%, and 12.8%, respectively. Similarly, the displacement values corresponding to the maximum load were higher in the glass fiber-reinforced specimens at all temperature levels. These finding indicates that the glass fiber-reinforced specimens retained their flexural performance better than the basalt fiber-reinforced specimens after high temperature exposure. The failure images of the specimens after three-point bending test are presented in Figure 2. It was observed that the cracks generally occurred in the mid-span region of the specimens, close

to the loading point. Distinct fractures were observed in the specimens exposed to high temperatures, and the specimens separated along the fracture section. These observations are consistent with the reductions in maximum load and displacement values observed with increasing temperature.

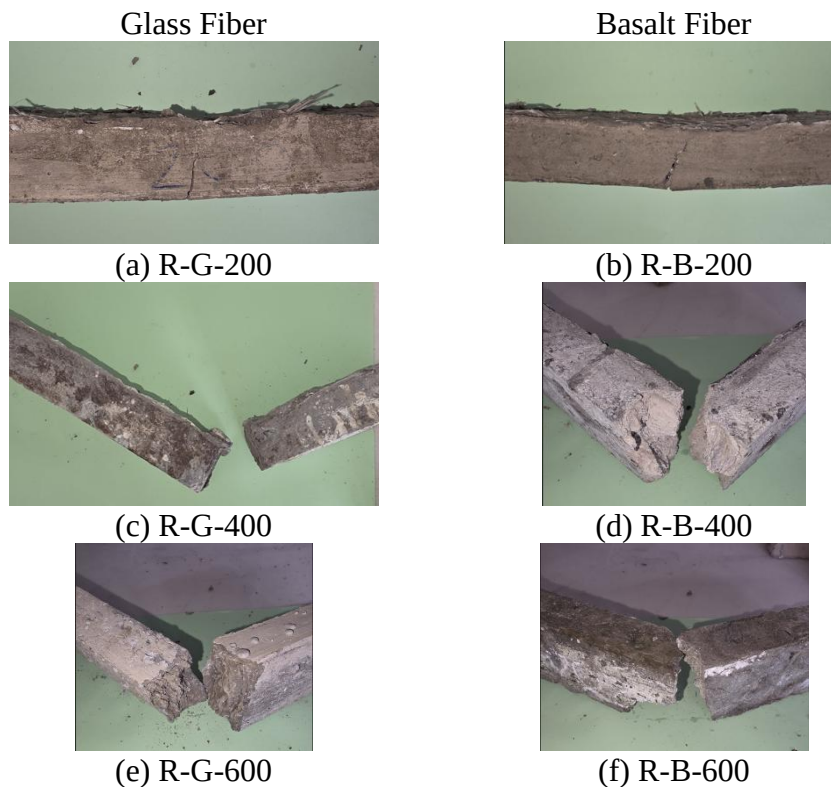


Figure 2. Failure pattern of glass and basalt fiber-reinforced geopolymer specimens after exposure to 200, 400, and 600 °C

Figure 3 shows the variation in the maximum load capacity of glass and basalt fiber-reinforced geopolymer specimens as a function of temperature. As shown in the graph, the maximum load capacity of both fiber groups exhibits a decreasing trend with increasing temperature. However, the maximum load values for glass fiber-reinforced specimens are higher than those of the basalt fiber-reinforced specimens at all temperature levels. This finding indicates that flexural behavior after high-temperature exposure varies depending on the fiber type.

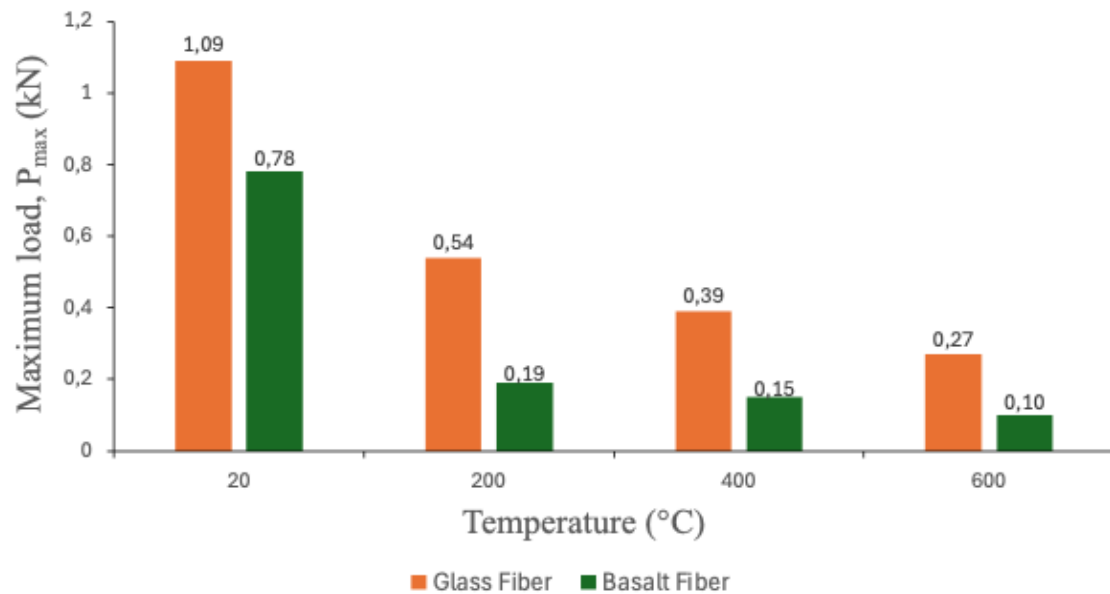


Figure 3. Maximum load capacities of glass and basalt fiber-reinforced geopolymer specimens at different temperatures

Figure 4 presents a comparison of the variation in displacement values corresponding to the maximum load as a function of temperature. It is observed that displacement values for both fiber groups decrease with increasing temperature, however, this decrease shows a trend that varies depending on the fiber type. While the most pronounced change is observed in the 20–200°C temperature range, the decrease continues more gradually as the temperature increases. In addition, it is observed that the glass fiber-reinforced specimens retain their displacement values better than the basalt fiber-reinforced specimens.

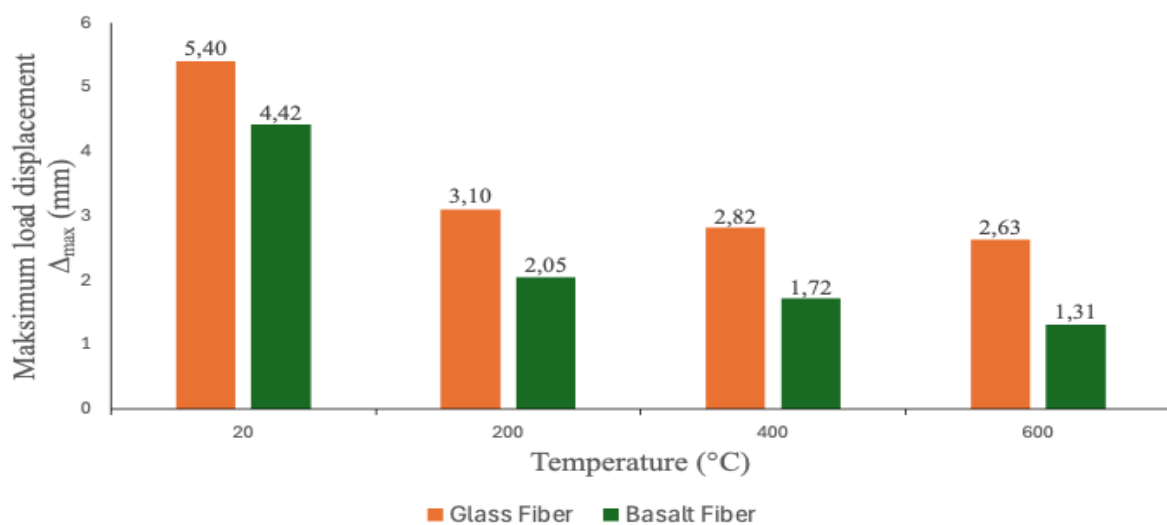


Figure 4. Displacements corresponding to the maximum load of glass and basalt fiber-reinforced geopolymer specimens at different temperatures

4. CONCLUSIONS

In this study, the flexural behavior of glass and basalt fiber-reinforced geopolymer concretes after high-temperature exposure was mechanically investigated. The results showed that, with increasing temperature, the maximum load and the displacement corresponding to the maximum load decreased in both basalt and glass fiber-reinforced specimens. In addition, higher maximum load and displacement values were obtained for the glass fiber-reinforced specimens than for the basalt fiber-reinforced specimens at all temperature levels. Furthermore, the loss in maximum load was greater in basalt fiber-reinforced specimens with increasing temperature exposure. Examination of the failure patterns of the specimens showed that the observed crack and fracture formations were consistent with the mechanical results.

In conclusion, the experimental results indicate that fiber type has a significant effect on the flexural behavior of the investigated geopolymer concretes after high-temperature exposure. In addition, the glass fiber-reinforced specimens were found to retain their mechanical performance better than the basalt fiber-reinforced specimens.

REFERENCES

- Zaland, S., Wang, J., Li, K., Sadat, S. I., & Akhunzada, K. (2026). Geopolymers as a sustainable alternative to Portland cement: Synthesis, durability, applications, environmental impacts, and cost analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 225, 116157.
- Alnadish, A. M. (2026). Geopolymer concrete: a comprehensive review of current research trends, challenges, and environmental-economic implications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-38.
- Li, Y., Makklang, S., Li, L., & Chen, Z. (2026). Integrating domain knowledge in AI-driven geopolymer concrete property prediction system: A comprehensive survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 176, 114761.
- Al-Janabi, M. A. Q., Al-Jeznawi, D., Nasser, R. T., Bernardo, L. F. A., Jais, I. B. M., & Pinto, H. A. S. (2026). Shear Behavior of Geopolymer Concrete Beams Under Monotonic and Cyclic Loading. *Sustainability*, 18(5), 2209.
- Hamada, H. M., Al-Attar, A., Beddu, S., Askar, M. K., Yousif, S. T., & Majdi, A. (2025). Impact of rice husk ash on geopolymer concrete: A literature review and future directions. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04476.
- Hanafi, M. R., Rahimpour, H., Moodi, F., Ghayeb, H. H., & Fahmi, A. (2026). Fully upcycled cement-free geopolymer concrete from recycled concrete and brick powders: Performance, durability, and microstructural mechanisms. *Construction and Building Materials*, 521, 146140.
- Kishore, K., Sheikh, M. N., & Hadi, M. N. (2025). Functionalization of carbon nanotubes for enhanced dispersion and improved properties of geopolymer concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 111, 113096.
- Aalipour, A., & Moosavi, A. (2026). Microstructural and Mechanical Comparison of Metakaolin Geopolymer vs Cement Composites with Quartz and Polypropylene. *Iranian Journal of Materials Science & Engineering*, 23(1), 123.
- Wu, W., Li, H., Zhao, J., Meng, Y., Yang, W., Lu, J. X., ... & Poon, C. S. (2026). Advances in low-carbon concrete performance through glass fiber integration: Mechanisms and recycling innovation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116291.
- Shen, Y. N., Xi, H., Li, T. S., Wang, Y. Y., Wang, W. C., Fang, Y. H., ... & Huang, B. T. (2026). Strain-hardening alkali-activated basalt/slag composites with high strength and high ductility: Unraveling the role of waste basalt powder. *Cement and Concrete Composites*, 106602.

İMMOBİLİZASYONA BAĞLI KOMPLİKASYONLARIN ÖNLENMESİNE YÖNELİK İNOVATİF BAKIM TEKNOLOJİLERİ

Hem. Keziban AĞRAĞLI

Tarsus University, Faculty of Science, Department of Nursing, 33400, Tarsus, Mersin

ORCID ID: 0009-0004-5332-1649

Dr. Öğr. Üyesi, Nadiye BARIŞ EREN

Tarsus University, Faculty of Science, Department of Nursing, 33400, Tarsus, Mersin

ORCID ID: 0000-0002-1935-244X

ÖZET

Bu bildirinin amacı, uzun süreli immobilizasyona bağlı komplikasyonların önlenmesine yönelik geliştirilen güncel inovatif bakım teknolojilerini incelemek ve bu teknolojilerin hemşirelik bakımına olası katkılarını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, Türk Patent ve Marka Kurumu'nun resmi veri tabanında yer alan 2026 yılı patent ve faydalı model başvuruları incelenmiş ve immobil hastaların bakımına yönelik olduğu değerlendirilen buluşlar ele alınmıştır. İncelenen buluşlar arasında; immobil yoğun bakım hastalarında üst gövde elevasyonunun ve güvenli pozisyonlandırmanın sürdürülmesini desteklemek amacıyla modüler kafa yastıkları, anatomik koltuk altı desteği ve sabitleme elemanları içeren “Koltuk Altı Destekli Ortopedik Antireflü Yoğun Bakım Hasta Yastığı”; uzun süreli immobilizasyona bağlı düşük ayak gelişimini önlemeye yönelik olarak ayak bileğine belirlenen zaman aralıklarında kontrollü dorsifleksiyon hareketi sağlayan “Zaman Kontrollü Mekanize Ayak Bileği Hareketi Sağlayan Düşük Ayak Önleyici Ortez Sistemi”; uzun süre yatağa bağımlı bireylerde vücut basıncının yoğunlaştığı bölgeleri sensörler aracılığıyla belirleyerek ilgili yatak segmentlerinde mekanik hareket oluşturan “Basınç Sensörlü Segmentli Basınç Dağıtıcı Medikal Hasta Yatağı” ve fiziksel tespit gereken hastalarda anatomik pozisyonun ve cilt bütünlüğünün desteklenmesine yönelik basınç dağıtıcı yüzeyler, ayarlanabilir kayışlar ve güvenlik kilit mekanizmaları içeren “Fiziksel Tespit Uygulamasında Güvenli El Ayak Sabitleyici Sistemi” yer almaktadır. Basınç sensörlü medikal hasta yatağında sırt, sakrum ve bacak bölgelerine karşılık gelen bağımsız segmentlerin, sensör verilerine göre mikro-kaydırma, yan eğim ve açısal hareketler gerçekleştirilmesiyle basınç noktalarının değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Güvenli el-ayak sabitleyici sisteminde ise bireyselleştirilebilir sabitlemenin yanı sıra ciltle temas eden yüzeylerin basınç, nem ve cilt bütünlüğü dikkate alınarak tasarlanması ve sabitlemeye bağlı kas-iskelet ve dolaşım sorunlarının önlenmesi hedeflenmektedir. Sonuç olarak, incelenen inovatif buluşların immobil hastalarda güvenli pozisyonlandırmanın sürdürülmesi, eklem hareketliliğinin desteklenmesi, basınç dağılımının yönetilmesi ve fiziksel tespitin daha güvenli gerçekleştirilmesi gibi farklı bakım gereksinimlerine yönelik çözümler sunduğu görülmektedir. Bu teknolojilerin immobilizasyona bağlı komplikasyonların önlenmesine yönelik hemşirelik girişimlerini destekleme, bakımın sürekliliğini kolaylaştırma ve hasta güvenliği ile konforuna katkı sağlama potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Hemşirelik, immobilizasyon, inovasyon, hasta güvenliği, bakım teknolojileri

INNOVATIVE CARE TECHNOLOGIES FOR THE PREVENTION OF IMMOBILIZATION-RELATED COMPLICATIONS

ABSTRACT

This paper aims to examine recent innovative care technologies developed to prevent complications associated with prolonged immobilization and to highlight their potential contributions to nursing care. For this purpose, patent and utility model applications filed in 2026 and available in the official database of the Turkish Patent and Trademark Office were reviewed, with a focus on inventions related to the care of immobilized patients. The inventions examined included “An Orthopedic Anti-Reflux Intensive Care Patient Pillow with Axillary Support” which incorporates modular head pillows, anatomical axillary support, and fixation components to support upper-body elevation and safe positioning in immobilized intensive care patients; “A Foot Drop-Preventing Orthosis System Providing Time-Controlled Mechanized Ankle Movement” which provides controlled dorsiflexion of the ankle at predetermined intervals to prevent foot drop associated with prolonged immobilization; “A Pressure-Sensor-Based Segmented Pressure-Redistributing Medical Patient Bed” which uses sensors to identify areas of concentrated body pressure in bedridden individuals and generates mechanical movement in the corresponding bed segments; and “A Safe Hand and Foot Restraint System for Physical Restraint Applications” which incorporates pressure-distributing surfaces, adjustable straps, and safety-locking mechanisms to support anatomical positioning and skin integrity in patients requiring physical restraint. In the pressure-sensor-based medical bed, independent segments corresponding to the back, sacral, and leg regions are designed to perform micro-sliding, lateral tilting, and angular movements based on sensor data to redistribute pressure points. The safe hand and foot restraint system is designed to provide individualized restraint while considering pressure, moisture management, and skin integrity at skin-contact surfaces, with the aim of preventing restraint-related musculoskeletal and circulatory complications. Overall, the inventions reviewed offer innovative solutions for different care needs of immobilized patients, including maintaining safe positioning, supporting joint mobility, managing pressure distribution, and facilitating safer physical restraint. These technologies may have the potential to support nursing interventions aimed at preventing immobilization-related complications, facilitate continuity of care, and contribute to patient safety and comfort.

Keywords: Nursing, immobilization, innovation, patient safety, care technologies

GİRİŞ

Hareket, bireyin fizyolojik işlevlerini sürdürebilmesi, bağımsızlığını koruyabilmesi ve günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirebilmesi açısından temel bir gereksinimdir. Bununla birlikte kritik hastalık, bilinç düzeyindeki değişiklikler, cerrahi girişimler, nörolojik veya kas-iskelet sistemi sorunları ve uzun süreli yatak istirahati gibi nedenler bireyin hareket yeteneğini sınırlandırabilmektedir. Özellikle yoğun bakım ve uzun süreli bakım gerektiren hasta gruplarında immobilizasyon, bakım sürecinin önemli sorunlarından biri haline gelebilmektedir (Schaller ve ark., 2024).

Uzun süreli immobilizasyon yalnızca hareket yeteneğinin kaybıyla sınırlı değildir. Aynı pozisyonda uzun süre kalma; belirli vücut bölgelerinde basıncın artmasına, eklem hareket açıklığının azalmasına, kas-iskelet sistemi sorunlarına ve kontraktür gelişimine zemin hazırlayabilir. Basınç yaralanmalarının önlenmesinde bireyin yeniden pozisyonlandırılması ve basıncın uygun destek yüzeyleri aracılığıyla yeniden dağıtılması temel yaklaşımlar arasında yer

almaktadır (National Pressure Injury Advisory Panel ve ark., 2026). İncelenen patent dokümanlarında da immobilizasyonla ilişkili olarak basınç yaralanmaları, dolaşım sorunları, düşük ayak ve eklem hareketliliğindeki azalma gibi sorunlara odaklanıldığı görülmektedir. Örneğin basınç sensörlü hasta yatağına ilişkin dokümanda, uzun süre yatağa bağımlı bireylerde özellikle sırt, sakrum ve topuk gibi bölgelerde sürekli basınca bağlı sorunların ortaya çıkabileceği belirtilmektedir.

İmmobil hastanın bakımında komplikasyonların önlenmesi hemşirelik bakımının önemli bileşenlerinden biridir. Özellikle kritik hastalarda pozisyonlandırma ve mobilizasyonun hastanın klinik durumuna göre planlanması ve bireyselleştirilmesi önem taşımaktadır (**Schaller ve ark., 2024**). Uygun pozisyon verme, vücut mekaniğinin ve anatomik dizilimin korunması, basınç altında kalan bölgelerin değerlendirilmesi, eklem hareketliliğinin desteklenmesi, cilt bütünlüğünün izlenmesi ve kullanılan sabitleme araçlarının güvenliğinin değerlendirilmesi bu kapsamda ele alınmaktadır. Bununla birlikte bu girişimlerin sürekliliği önemli ölçüde sağlık profesyonellerinin düzenli değerlendirme ve müdahalesini gerektirmektedir.

Sağlık teknolojilerindeki gelişmeler, geleneksel bakım girişimlerini destekleyebilecek yeni çözümlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (**Conte ve ark., 2023**). Sensörler aracılığıyla basıncın algılanması, mekanize sistemlerle belirli hareketlerin gerçekleştirilmesi, ergonomik destek araçları ve güvenliği artırmaya yönelik yeni sabitleme mekanizmaları bu yaklaşımlara örnek oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, 2026 yılı patent ve faydalı model başvuruları içerisinde immobilizasyona bağlı komplikasyonların önlenmesine yönelik seçilmiş inovatif bakım teknolojilerini incelemek ve bu teknolojilerin hemşirelik bakımına olası katkılarını değerlendirmektir.

YÖNTEM

Bu çalışma, doküman incelemesine dayalı tanımlayıcı nitelikte gerçekleştirilmiştir. Temmuz 2026'da gerçekleştirilen tarama kapsamında, Türk Patent ve Marka Kurumu'nun resmi veri tabanında yer alan patent ve faydalı model başvuruları incelenmiştir. Tarama sırasında "Buluş Özeti" alanına "hasta" anahtar kelimesi yazılmış ve sonuçlar 2026 yılı ile sınırlandırılmıştır. Elde edilen patent ve faydalı model başvuruları, hemşirelik uygulamaları ve hasta bakımı ile ilişkileri açısından değerlendirilmiştir.

Tarama sonucunda ulaşılan başvurular arasından immobil hastaların bakımına ve immobilizasyona bağlı komplikasyonların önlenmesine yönelik olduğu değerlendirilen dört buluş çalışma kapsamına alınmıştır. Bunlar; "Koltuk Altı Destekli Ortopedik Antireflü Yoğun Bakım Hasta Yastığı", "Zaman Kontrollü Mekanize Ayak Bileği Hareketi Sağlayan Düşük Ayak Önleyici Ortez Sistemi", "Basınç Sensörlü Segmentli Basınç Dağıtıcı Medikal Hasta Yatağı" ve "Fiziksel Tespit Uygulamasında Güvenli El Ayak Sabitleyici Sistemi"dir.

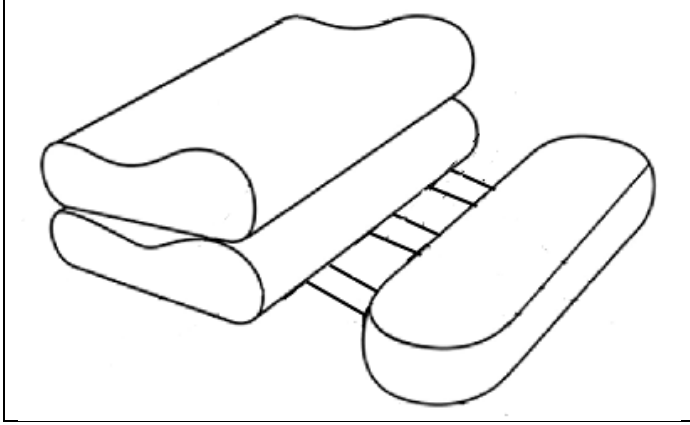
Seçilen dokümanlar; buluşun amacı, çözüm geliştirdiği bakım sorunu, temel teknik özellikleri, kullanım alanları ve hasta güvenliği ile hemşirelik bakımına olası katkıları açısından incelenmiştir. Patent ve faydalı model dokümanlarında belirtilen yararlar klinik etkinlik bulguları olarak değerlendirilmemiş; buluşların tasarım amaçları ve öngörülen kullanım alanları doğrultusunda ele alınmıştır.

BULGULAR

1. Koltuk Altı Destekli Ortopedik Antireflü Yoğun Bakım Hasta Yastığı

Bu buluş, başta immobil yoğun bakım hastaları olmak üzere uzun süreli yatış ve güvenli pozisyonlandırma gereksinimi bulunan bireyler için geliştirilmiş ortopedik bir destek sistemidir (Şekil 1). Ürünün üst gövde elevasyonunu destekleyerek hastanın pozisyonunun

sürdürülmesine ve koltuk altı destekleri aracılığıyla hastanın yana kaymasının sınırlandırılmasına yönelik tasarlandığı belirtilmektedir.



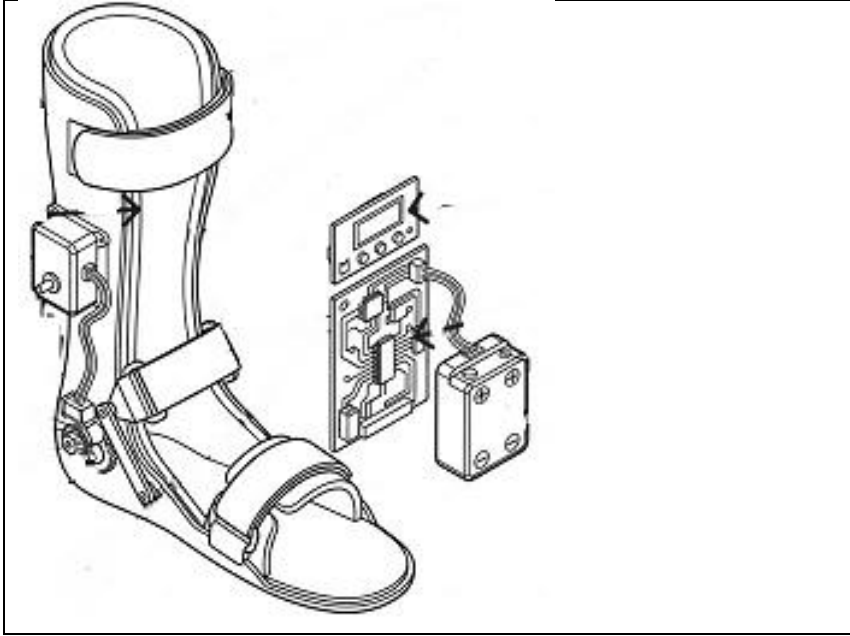
Şekil 1. Koltuk Altı Destekli Ortopedik Antireflü Yoğun Bakım Hasta Yastığı

Sistem, doğrudan baş ve boyunla temas eden üst yastık ve yükseltme sağlayan alt yastıktan oluşan modüler bir kafa yastığı yapısına sahiptir. Üst yastığın servikal lordozu desteklemeye ve başın sağa-sola kaymasını sınırlandırmaya yönelik anatomik biçimde tasarlandığı; koltuk altı desteğinin ise supin pozisyonda ana yastığın altına veya skapulalar arasına transvers biçimde yerleştirilebildiği görülmektedir.

Hemşirelik bakımı açısından değerlendirildiğinde ürün, immobil hastalarda pozisyonun korunması, anatomik dizilimin desteklenmesi ve uzun süreli yatış sırasında hasta konforunun sürdürülmesine yönelik yardımcı bir bakım teknolojisi niteliğindedir. Bununla birlikte aspirasyon veya diğer komplikasyonları azalttığına ilişkin klinik etkinliğin ayrıca araştırılması gerekmektedir.

2. Zaman Kontrollü Mekanize Ayak Bileği Hareketi Sağlayan Düşük Ayak Önleyici Ortez Sistemi

Bu buluş, uzun süreli immobilizasyona maruz kalan hastalarda düşük ayak gelişiminin önlenmesine yönelik geliştirilmiş mekanize bir ortez sistemidir. Sistem; ortez gövdesi, sabitleyici kayış/sargı sistemi, ciltle cihaz arasında yer alan basınç azaltıcı ara yüz, mekanik hareket iletim düzeneği, motor, zamanlayıcı, kontrol devresi ve güç biriminden oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Zaman Kontrollü Mekanize Ayak Bileği Hareketi Sağlayan Düşük Ayak Önleyici Ortez Sistemi

Sistemin temel özelliği, ayak bileğine belirlenen zaman aralıklarında kontrollü dorsifleksiyon hareketi uygulayarak pasif hareket sağlamaya yönelik olmasıdır. Patent dokümanında sistemin özellikle yoğun bakım hastalarının yanı sıra evde bakım ve rehabilitasyon süreçlerinde de kullanılabilecek şekilde tasarlandığı belirtilmektedir.

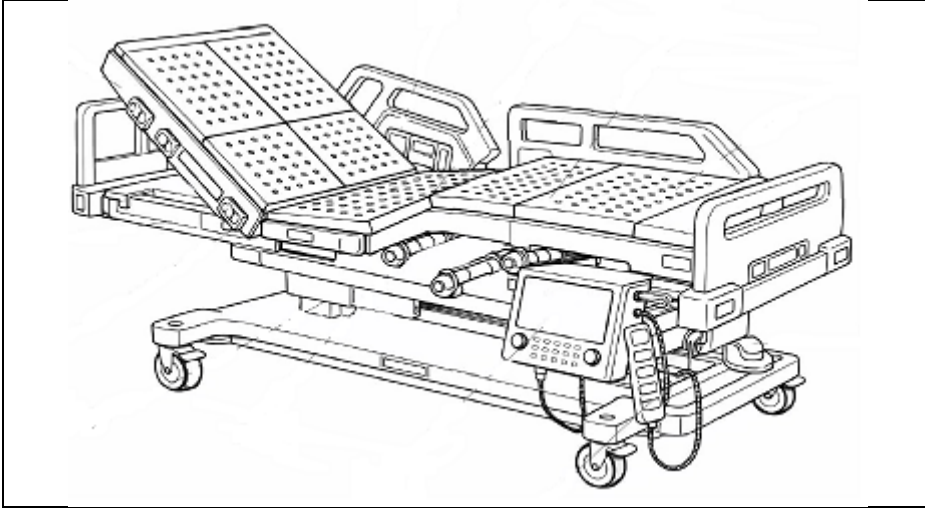
Buluştaki hareket süresi, sıklığı ve hareket açısının kontrol edilebilmesine yönelik parametreler bulunmaktadır. Ayrıca aşırı yük ve direnç algılama sensörleri, mekanik açı sınırlayıcılar ve manuel acil durdurma anahtarı gibi güvenlik bileşenleri öngörülmüştür. Cilt ile ortez arasında ise basıncı dağıtmaya yönelik yumuşak bir ara yüz bulunmaktadır.

Hemşirelik açısından bu teknoloji, uzun süreli immobilizasyonda eklem hareketliliğinin desteklenmesine yönelik uygulamaların belirli aralıklarla ve standardize biçimde sürdürülebilmesine yardımcı olabilecek bir sistem olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte patent dokümanında belirtilen kontraktür, basınç yaralanması veya dolaşım üzerindeki yararların klinik araştırmalarla doğrulanması gerekmektedir.

3. Basınç Sensörlü Segmentli Basınç Dağıtıcı Medikal Hasta Yatağı

Bu buluş, uzun süre yatağa bağımlı bireylerde basınç dağılımını yönetmeye yönelik sensör destekli ve segmentli bir medikal hasta yatağıdır. Yatak platformu sırt, sakrum ve bacak bölgelerine karşılık gelen bağımsız segmentlerden oluşmakta ve vücut basıncını algılamak amacıyla basınç sensörleri kullanılmaktadır.

Sistemi geleneksel hasta yatağından ayıran temel özelliklerden biri, sensör verilerine göre yalnızca yüksek basıncın belirlendiği segmentte hareket oluşturabilmesidir. Sistem; kısa mesafeli doğrusal hareket sağlayan mikro-kaydırma, belirli bölümlerde açısal değişiklik oluşturan yan eğim ve küçük açısal hareket sağlayan döner segment mekanizmalarını içermektedir. Ayrıca manuel kontrol ve acil durdurma mekanizmaları bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Basınç Sensörlü Segmentli Basınç Dağıtıcı Medikal Hasta Yatağı

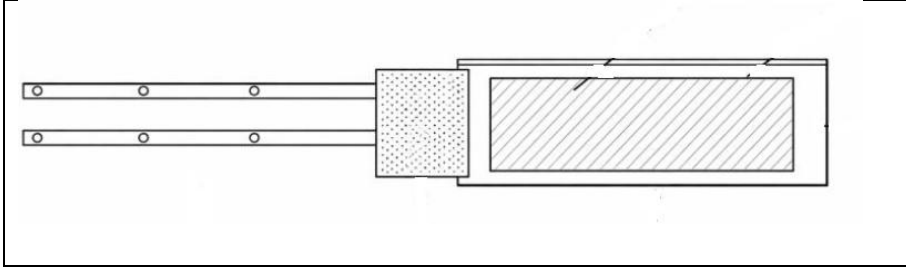
Basınç sensörlerinden gelen veriler kontrol ünitesi tarafından analiz edilmekte ve yüksek basınç belirlenen bölgelerde uygun mekanik hareket başlatılmaktadır. Böylece tüm vücudun tamamen çevrilmesi yerine belirli basınç noktalarının küçük segment hareketleriyle değiştirilmesi amaçlanmaktadır.

Hemşirelik bakımında basınç altında kalan vücut bölgelerinin değerlendirilmesi ve uygun pozisyon değişikliklerinin gerçekleştirilmesi önemli bir bakım sorumluluğudur. Bu nedenle söz konusu teknoloji, basınç yönetimini sensör verileriyle desteklemeye yönelik yardımcı bir bakım sistemi olarak değerlendirilebilir. Ancak sistemin hemşire tarafından gerçekleştirilen bütüncül cilt değerlendirmesi ve bireyselleştirilmiş pozisyonlandırmanın yerine geçmediği göz önünde bulundurulmalıdır.

4. Fiziksel Tespit Uygulamasında Güvenli El Ayak Sabitleyici Sistemi

Bu buluş; yoğun bakım, acil servis, ameliyathane, yatan hasta servisleri, palyatif bakım, evde bakım ve yaşlı bakım gibi farklı ortamlarda istemsiz veya kontrolsüz ekstremiteler hareketlerinin güvenli biçimde sınırlandırılmasına yönelik geliştirilmiştir. Sistemin tıbbi cihaz, kateter ve yaşam destek ekipmanlarının yerinden çıkmasını önlemeye ve tedavi ile bakım uygulamalarının kesintisiz sürdürülmesini desteklemeye yönelik olduğu belirtilmektedir.

Buluşun hasta güvenliği açısından dikkat çeken yönü, yalnızca hareketi sınırlandırmayı değil, sabitlemeye bağlı olası komplikasyonları da dikkate alan bir tasarıma sahip olmasıdır (Şekil 4). Sistem, farklı anatomik yapılarla uyum sağlayabilen ayarlanabilir sabitleme elemanları ve aşırı basıncı önlemeye yönelik güvenlik mekanizmaları içermektedir. Ciltle doğrudan temas eden yüzeylerde nefes alabilirlik ve nem yönetimini destekleyen yumuşak materyallerin kullanılması öngörülmüştür.



Şekil 4. Fiziksel Tespit Uygulamasında Güvenli El Ayak Sabitleyici Sistemi

Kademeli ayarlanabilir kayışların anatomik pozisyonu desteklemeye ve aşırı basıncı sınırlandırmaya yönelik olduğu; sistemin hasta tarafından kolaylıkla açılmayan ancak sağlık çalışanının gerektiğinde hızlı biçimde açabileceği bir güvenlik kilit mekanizması içerdiği belirtilmektedir.

Hemşirelik açısından fiziksel tespit, yalnızca bir cihaz kullanımı değil, gerekliliğin sürekli değerlendirilmesini, hastanın yakından izlenmesini ve mümkün olan en kısa sürede sonlandırılmasını gerektiren bir hasta güvenliği konusu olarak ele alınmalıdır. Bu nedenle söz konusu buluş, fiziksel tespit gerekliliğine ilişkin klinik kararın yerine geçen bir araç olarak değil, tespit uygulanmasının gerekli olduğu durumlarda güvenliği desteklemeye yönelik bir teknoloji olarak değerlendirilmelidir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada incelenen dört inovatif buluş, immobil hastalarda ortaya çıkabilecek sorunların farklı boyutlarına yönelik teknolojik çözümler sunmaktadır. Buluşlar birlikte değerlendirildiğinde pozisyonlandırma, eklem hareketliliğinin desteklenmesi, basınç yönetimi ve güvenli fiziksel tespit olmak üzere dört temel bakım alanının öne çıktığı görülmektedir.

Koltuk altı destekli ortopedik antireflü yoğun bakım hasta yastığı, immobil hastanın anatomik pozisyonunun ve üst gövde elevasyonunun sürdürülmesine yönelik daha çok pasif ve mekanik bir destek sunmaktadır. Buna karşılık düşük ayak önleyici ortez, zaman kontrollü motor sistemiyle belirli aralıklarla hareket oluşturarak statik destekten aktif/mechanize destek yaklaşımına geçmektedir. Ortezde basınç azaltıcı ara yüzün de bulunması, hareket desteği ile cilt güvenliğinin aynı tasarım içerisinde ele alınması açısından dikkat çekicidir. Patent dokümanında ürünün önleyici bakım ile pasif rehabilitasyonu bir araya getirmeye yönelik tasarlandığı belirtilmektedir.

Basınç sensörlü segmentli yatak ise bu yaklaşımı bir adım daha ileri taşıyarak sensör verisine dayalı bakım desteği sunmaktadır. Yatak yüzeyindeki sensörlerin basıncın yoğunlaştığı bölgeleri belirlemesi ve yalnızca ilgili segmentlerde mikro-kaydırma, yan eğim veya döner hareket oluşturmaları, bakım teknolojilerinin hastadan elde edilen veriye göre tepki veren sistemlere doğru gelişimini göstermektedir. Basınç yaralanmalarının önlenmesinde yeniden pozisyonlandırma ve basıncı yeniden dağıtan destek yüzeylerinin kullanımı temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır (National Pressure Injury Advisory Panel, 2025). Bu açıdan söz konusu özellik, hemşirelikte basınç yönetiminin teknolojik araçlarla desteklenmesi açısından önemlidir.

Fiziksel tespit sistemi ise immobilizasyon konusunun farklı bir yönünü ortaya koymaktadır. Diğer üç teknoloji hastalığa veya uzun süreli yatışa bağlı hareketsizliğin sonuçlarına odaklanırken, bu buluş bakım amacıyla hareketin sınırlandırılmasının oluşturabileceği riskleri ele almaktadır. Sistemin anatomik uyum, basınç dağılımı, cilt bütünlüğü, dolaşım ve hızlı

serbest bırakma gibi unsurları birlikte değerlendirmesi hasta güvenliği açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte daha güvenli bir sabitleme cihazının geliştirilmesi, fiziksel tespit kullanımının gerekliliğine ilişkin etik ve klinik değerlendirmeyi ortadan kaldırmamalıdır (Cui ve ark., 2023).

Dört buluşun ortak yönlerinden biri de sağlık profesyoneline bağımlı bakım girişimlerinin sürekliliğini teknolojik olarak desteklemeye çalışmalarıdır. Bunun en belirgin örnekleri, belirli aralıklarla ayak bileği hareketi sağlayan ortez ile yüksek basınç belirlenen bölgelerde otomatik segment hareketi oluşturan yataktır. Ancak bu tür sistemlerin sağlık profesyonelinin klinik değerlendirmesinin yerine geçmesi değil, bu değerlendirmeyi ve bakım uygulamalarını desteklemesi beklenmelidir.

İnovatif teknolojilerin klinik kullanıma aktarılmasında yalnızca teknik işlevlerinin değil; hasta konforu, cilt bütünlüğü, güvenlik, kullanılabilirlik, temizlik ve enfeksiyon kontrolü, sağlık çalışanı iş yükü ve maliyet gibi sonuçların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle uzun süre doğrudan hastayla temas eden ortez, yastık, yatak ve sabitleme sistemlerinde ergonomik ve bireyselleştirilebilir tasarım önem taşımaktadır.

Ayrıca bu çalışmada incelenen belgelerin patent/faydalı model dokümanları olduğu ve klinik etkinlik araştırmaları olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla dokümanlarda belirtilen basınç yaralanması, kontraktür, aspirasyon, dolaşım bozukluğu veya diğer komplikasyonların azaltılmasına ilişkin ifadeler, klinik olarak kanıtlanmış sonuçlar şeklinde yorumlanmamalıdır. Bu teknolojilerin etkinlik ve güvenliklerinin uygun klinik araştırmalarla değerlendirilmesine gereksinim bulunmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen 2026 yılı patent ve faydalı model başvuruları, immobil hastaların bakımında karşılaşılan farklı sorunlara yönelik inovatif teknolojik yaklaşımların geliştirildiğini göstermektedir. Koltuk altı destekli ortopedik hasta yastığı güvenli pozisyonlandırmayı; mekanize ayak bileği ortezi eklem hareketliliğini; basınç sensörlü segmentli hasta yatağı basınç yönetimini; güvenli el-ayak sabitleyici sistemi ise fiziksel tespit sırasında hasta güvenliğini desteklemeye yönelik çözümler sunmaktadır.

Bu teknolojilerin ortak noktası, immobilizasyona bağlı komplikasyonların önlenmesine yönelik bakım uygulamalarını teknolojik ve ergonomik çözümlerle desteklemeyi amaçlamalarıdır. Bununla birlikte patent ve faydalı model aşamasındaki teknolojilerin klinik bakımda kullanılmadan önce güvenlik, etkinlik, kullanılabilirlik ve hasta konforu açısından değerlendirilmesi önemlidir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda bu teknolojilerin basınç yaralanmaları, eklem hareket açıklığı, hasta konforu, cilt bütünlüğü, hemşire iş yükü ve bakım kalitesi gibi sonuçlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

Ayrıca hemşirelerin immobil hastaların günlük bakımında karşılaştıkları sorunları doğrudan gözlemleyen sağlık profesyonelleri olarak inovatif ürünlerin geliştirilmesi, kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi ve klinik uygulamaya uyarlanması süreçlerine aktif katılımının desteklenmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Conte G, Arrigoni C, Magon A, Stievano A, Caruso R. Embracing digital and technological solutions in nursing: A scoping review and conceptual framework. *Int J Med Inform.* 2023 Sep;177:105148. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2023.105148>
- Cui N, Yang R, Zhang H, Chen D, Wu J, Zhang Y, Ma Y, Jin J. Using the evidence to decision frameworks to formulate the direction and strength of recommendations for adapted

guidelines of physical restraints in critical care: A Delphi study. *Intensive Crit Care Nurs.* 2023 Jun;76:103382. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2022.103382>

- National Pressure Injury Advisory Panel, European Pressure Ulcer Advisory Panel and Pan Pacific Pressure Injury Alliance. *Prevention and Treatment of Pressure Ulcers/Injuries: Quick Reference Guide. The International Guideline: Fourth Edition.* Emily Haesler (Ed.). 2026. [cited: 8.08.2026]. Available from: <https://internationalguideline.com>.
- Schaller SJ, Scheffenbichler FT, Bein T, Blobner M, Grunow JJ, Hamsen U, Hermes C, Kaltwasser A, Lewald H, Nydahl P, Reißhauer A, Renzewitz L, Siemon K, Staudinger T, Ullrich R, Weber-Carstens S, Wrigge H, Zergiebel D, Coldewey SM. Guideline on positioning and early mobilisation in the critically ill by an expert panel. *Intensive Care Med.* 2024 Aug;50(8):1211-1227. <https://doi.org/10.1007/s00134-024-07532-2>

İNVAZİV HEMŞİRELİK UYGULAMALARINDA HASTA GÜVENLİĞİNİ DESTEKLEYEN İNOVATİF BULUŞLAR

Hem. Emine CURAN

Tarsus University, Faculty of Science, Department of Nursing, 33400, Tarsus, Mersin

ORCID ID: 0009-0006-7815-3586

Dr. Öğr. Üyesi Nadiye BARIŞ EREN

Tarsus University, Faculty of Science, Department of Nursing, 33400, Tarsus, Mersin

ORCID ID: 0000-0002-1935-244X

ÖZET

Bu bildirinin amacı, invaziv hemşirelik uygulamalarında hasta güvenliğini desteklemeye yönelik güncel inovatif buluşları incelemek ve bu buluşların hemşirelik bakımına olası katkılarını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, Türk Patent ve Marka Kurumu’nun resmi veri tabanında yer alan 2026 yılı patent ve faydalı model başvuruları incelenmiş ve invaziv girişimler ile doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilen buluşlar ele alınmıştır. Türk Patent ve Marka Kurumu, kendi veri tabanında kayıtlı patentler üzerinden araştırma ve dosya takibine olanak sağlamaktadır. İncelenen buluşlar arasında; damar yolu girişimleri sırasında istemsiz kol hareketlerini sınırlandırmak ve ekstremitte stabilizasyonunu sağlamak amacıyla geliştirilen, farklı kol uzunluklarına uyarlanabilen “Tıbbi İşlemlerde Damar Yolu Müdahaleleri İçin Kullanılan Bir Kol Sabitleme Aparatı”; farklı serum setleriyle uyum sağlayan ve kendiliğinden kapanan valf mekanizması aracılığıyla mesane irrigasyonu sırasında geri akış ve sıvı sızıntısını önlemeye yönelik “Farklı Serum Setleri ile Uyumlu, Geri Akışı ve Sıvı Sızıntısını Önleyen Venöz Valf Başlıklı Foley Kateter İrrigasyon Lümeni Bağlantı ve Stoperi”; dört farklı intravenöz sıvı hattının tek bir aparat üzerinden birbirinden bağımsız ve kontrollü biçimde yönetilmesine olanak sağlayan “Çok Yollu Musluk” ve damarların belirlenmesini kolaylaştırmak amacıyla kandaki hemoglobinin ışığı absorbe etme prensibinden yararlanan “Hemoglobin Hücreleri ile Damar Yolunu Gösteren Cihaz” yer almaktadır. Son buluş, damar yolunu çevre dokudan kontrastlı olarak görünür hale getirmeyi amaçlamasının yanı sıra kol sabitleme bandı ve iğne kızağı mekanizmasıyla özellikle hareketli koşullarda damar yolu girişimini destekleyecek biçimde tasarlanmıştır. Sonuç olarak, incelenen inovatif buluşların damar yolunun belirlenmesi, invaziv girişim sırasında ekstremitte stabilizasyonunun sağlanması, çoklu intravenöz sıvı uygulamalarının yönetilmesi ve mesane irrigasyonunda kapalı sistemin sürdürülmesi gibi hemşirelik uygulamalarının farklı aşamalarına yönelik çözümler sunduğu görülmektedir. Bu tür inovatif yaklaşımların hasta güvenliğinin desteklenmesi, invaziv girişimlere bağlı risklerin azaltılması ve hemşirelik uygulamalarının daha güvenli ve etkin biçimde yürütülmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Hemşirelik, hasta güvenliği, inovasyon, invaziv girişim, patent

INNOVATIVE INVENTIONS SUPPORTING PATIENT SAFETY IN INVASIVE NURSING PRACTICES

ABSTRACT

This paper aims to examine recent innovative inventions designed to support patient safety in invasive nursing practices and to highlight their potential contributions to nursing care. For this purpose, patent and utility model applications filed in 2026 and available in the official database of the Turkish Patent and Trademark Office were reviewed, with a focus on inventions directly

related to invasive procedures. The inventions examined included “An Arm Stabilization Apparatus Used for Vascular Access Interventions in Medical Procedures” which is designed to limit involuntary arm movements during vascular access procedures and provide extremity stabilization while accommodating different arm lengths; “A Venous Valve-Headed Foley Catheter Irrigation Lumen Connector and Stopper Compatible with Different Infusion Sets and Designed to Prevent Backflow and Fluid Leakage” which incorporates a self-closing valve mechanism intended to prevent backflow and fluid leakage during bladder irrigation; “A Multi-Way Stopcock” which enables four different intravenous fluid lines to be managed independently and in a controlled manner through a single device; and “A Device for Visualizing Vascular Access Using Hemoglobin Cells” which utilizes the light absorption properties of hemoglobin to facilitate vein visualization. The latter is designed to distinguish veins from surrounding tissue through enhanced contrast without requiring an external screen or projection system and incorporates an arm fixation band and needle-guidance mechanism to support vascular access, particularly under conditions involving patient movement or environmental vibration. Overall, the inventions reviewed offer innovative solutions for different stages of invasive nursing practices, including vein visualization, extremity stabilization during vascular access, management of multiple intravenous fluid lines, and maintenance of a closed system during bladder irrigation. Such innovations may contribute to supporting patient safety, reducing risks associated with invasive procedures, and facilitating safer and more effective nursing practices.

Keywords: Nursing, patient safety, innovation, invasive procedures, patent

GİRİŞ

Periferik venöz kateterizasyon ve intravenöz sıvı uygulamaları, girişimin gerçekleştirilmesinden tedavinin sürdürülmesine kadar sistematik ve güvenli bir bakım süreci gerektirmektedir (Nickel ve ark., 2024; World Health Organization [WHO], 2024). Benzer şekilde, üriner kateter bakımında sistem bütünlüğünün korunması ve güvenli bakım uygulamalarının sürdürülmesi önem taşımaktadır (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2024). İnvaziv araçların kullanımında kateter başarısızlığı, enfeksiyon, sistem bütünlüğünün bozulması ve güvenli akışın sürdürülmesine ilişkin sorunlar hasta güvenliği açısından önem taşımaktadır (CDC, 2024; Marsh ve ark., 2024; WHO, 2024).

İnovasyon, mevcut bakım sorunlarına yeni çözümler geliştirilmesi ve bakımın güvenlik, etkinlik ve uygulanabilirlik açısından iyileştirilmesi bakımından sağlık hizmetlerinde önemli bir yere sahiptir (Conte ve ark., 2023). Hemşireler, klinik bakım süreçlerindeki aktif rolleri nedeniyle uygulamadaki gereksinimlerin belirlenmesi ve teknolojik çözümlerin bakım süreçlerine uyarlanması açısından önemli bir konumdadır (Guo ve ark., 2026). Bu nedenle hasta bakımına yönelik patent ve faydalı model başvurularının hemşirelik perspektifinden değerlendirilmesi, yeni teknolojilerin bakım süreçlerindeki olası kullanım alanlarının ortaya konulmasına katkı sağlayabilir.

İncelenen patent dokümanları da invaziv uygulamalarda karşılaşılan farklı sorunlara odaklanmaktadır. Örneğin damar yolu girişimleri sırasında ani ve istemsiz kol hareketlerinin iğnenin yer değiştirmesi, ağrı, hematoma ve damar hasarı gibi sorunlarla ilişkili olabileceği belirtilmekte ve kol stabilizasyonuna yönelik bir aparat önerilmektedir. Çoklu intravenöz tedavilerde ise ek bağlantıların sistemi karmaşıktırabileceği, bağlantı noktalarında ayrılma, akış kesintisi ve tıkanıklık gibi sorunlar oluşturabileceği ifade edilmektedir.

Bu çalışma, 2026 yılında başvurusu yapılan ve invaziv hemşirelik uygulamalarıyla ilişkili seçilmiş buluşları hasta güvenliği perspektifinden incelemeyi amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışma, doküman incelemesine dayalı tanımlayıcı nitelikte gerçekleştirilmiştir. Temmuz 2026'da gerçekleştirilen tarama kapsamında, Türk Patent ve Marka Kurumu'nun resmi veri tabanında yer alan patent ve faydalı model başvuruları incelenmiştir. Tarama sırasında "Buluş Özeti" alanına "hasta" anahtar kelimesi yazılmış ve sonuçlar 2026 yılı ile sınırlandırılmıştır. Elde edilen patent ve faydalı model başvuruları, hemşirelik uygulamaları ve hasta bakımı ile ilişkileri açısından değerlendirilmiştir.

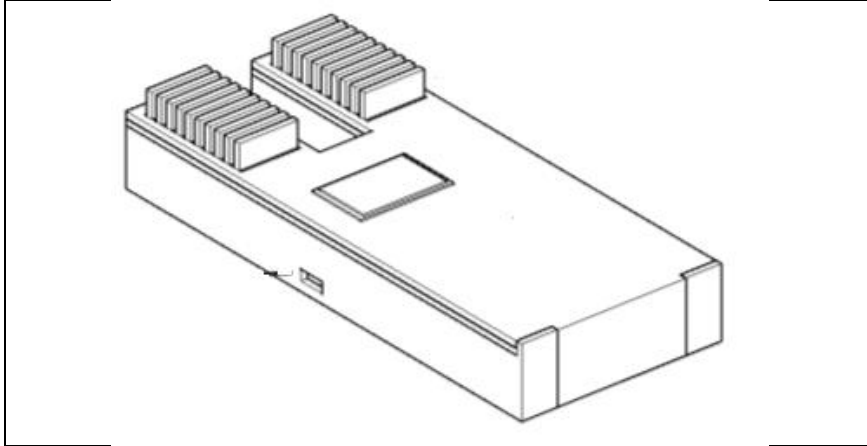
Tarama sonucunda ulaşılan başvurular arasından invaziv hemşirelik uygulamalarıyla doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilen dört buluş çalışma kapsamına alınmıştır. Bunlar; "Tıbbi İşlemlerde Damar Yolu Müdahaleleri İçin Kullanılan Bir Kol Sabitleme Aparatı", "Farklı Serum Setleri ile Uyumlu, Geri Akışı ve Sıvı Sızıntısını Önleyen Venöz Valf Başlıklı Foley Kateter İrrigasyon Lümeni Bağlantı ve Stoperi", "Çok Yollu Musluk" ve "Hemoglobin Hücreleri ile Damar Yolunu Gösteren Cihaz" dır.

Seçilen patent ve faydalı model dokümanları; buluşun amacı, çözüm geliştirdiği klinik/uygulamaya ilişkin sorun, temel teknik özellikleri, kullanım alanları ve hasta güvenliği ile hemşirelik bakımına olası katkıları açısından incelenmiştir. Patent ve faydalı model dokümanlarında belirtilen yararlar klinik etkinlik bulguları olarak kabul edilmemiş; buluşların tasarım amaçları ve öngörülen kullanım alanları doğrultusunda değerlendirme yapılmıştır.

BULGULAR

1. Hemoglobin Hücreleri ile Damar Yolunu Gösteren Cihaz

Buluş, özellikle damar yolunun belirlenmesinin güç olduğu durumlarda venin görünürlüğünü artırmaya yönelik geliştirilmiş taşınabilir bir cihazdır (Şekil 1). Sistem, yüksek yoğunluklu LED ışığından yararlanmakta ve kandaki hemoglobinin ışığı absorbe etmesi sonucunda damar yolunun çevre dokudan kontrastlı biçimde ayrılmasını amaçlamaktadır. Işığın hedef dokuya yönlendirilmesi için saydam reflektör ve kapalı ışık odası kullanılmıştır.



Şekil 1. Hemoglobin Hücreleri ile Damar Yolunu Gösteren Cihaz

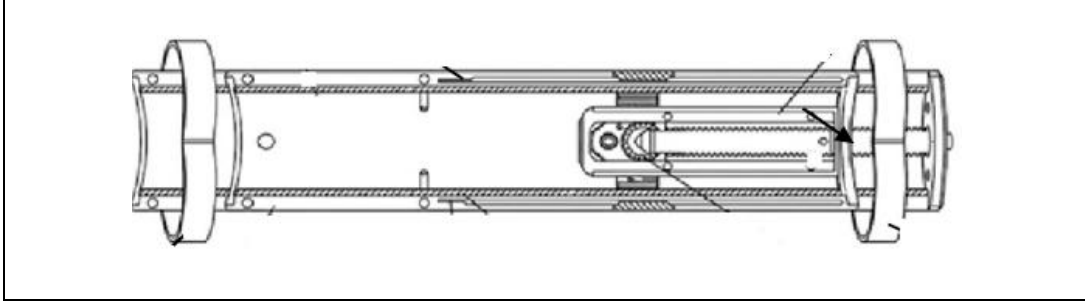
Buluşun invaziv hemşirelik uygulamaları açısından dikkat çeken bir diğer özelliği, yalnızca damar görünürlüğüne odaklanmamasıdır. Cihazda kola sabitlemeye yönelik tokalı kol bandı ile iğnenin damar eksenine boyunca kontrollü ilerlemesini destekleyen iğne kızıağı ve düz iğne yatağı bulunmaktadır. Bu yapının özellikle hasta hareketi, spazm, ambulans hareketi veya titreşim bulunan koşullarda girişimin stabilizasyonunu desteklemesi amaçlanmaktadır.

Buluşun acil servis, ambulans ve afet/saha koşullarında kullanıma yönelik olarak tasarlanmış olması, damar yolu erişiminin farklı bakım ortamlarında desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Hemşirelik açısından değerlendirildiğinde bu yaklaşım, özellikle güç damar yolu erişiminde venin belirlenmesini ve girişimin daha kontrollü gerçekleştirilmesini destekleyebilecek bir teknoloji olarak değerlendirilebilir.

2. Tıbbi İşlemlerde Damar Yolu Müdahaleleri İçin Kullanılan Bir Kol Sabitleme Aparatı

Bu buluş; kan alma, kan verme, intravenöz sıvı tedavisi ve diğer damar yolu işlemleri sırasında kolunu istemsiz olarak hareket ettirme olasılığı bulunan bireylerde ekstremitenin stabilizasyonuna yönelik geliştirilmiştir. Patent dokümanında çocuklar, yaşlı bireyler ve Parkinson veya epilepsi gibi durumları bulunan hastalar dahil olmak üzere farklı hasta gruplarında kullanılabileceği belirtilmektedir.

Aparat insan kol anatomisine uygun kavisli U formunda tasarlanmış olup, gerginliği ayarlanabilen sabitleme bantları ve antibakteriyel, silinebilir silikon iç yüzey içermektedir. Bu özelliklerin farklı kol yapılarına uyum, hijyen ve stabilizasyonu desteklemeye yönelik olduğu görülmektedir (Şekil 2).



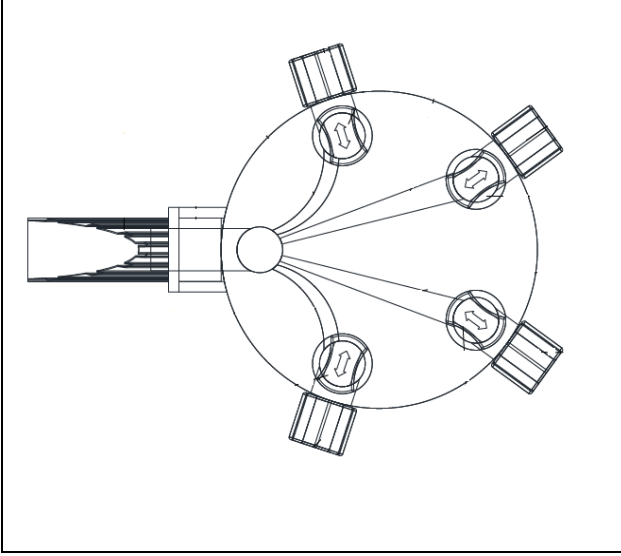
Şekil 2. Tıbbi İşlemlerde Damar Yolu Müdahaleleri İçin Kullanılan Bir Kol Sabitleme Aparatı

Damar yolu uygulaması sırasında kolun ani hareketinin iğnenin yer değiştirmesi ve damar yolu bütünlüğünün bozulmasıyla sonuçlanabilmesi nedeniyle ekstremitenin uygun biçimde stabilize edilmesi önemlidir. Buluşun temel tasarım amacı da işlem sırasında kol stabilizasyonunu ve hasta konforunu desteklemek, ani hareketleri sınırlandırmak ve iğnenin istemsiz biçimde yer değiştirmesiyle ilişkili riskleri azaltmaya yönelik bir çözüm sunmaktır.

3. Çok Yollu Musluk

Çok yollu musluk, birden fazla intravenöz sıvının eş zamanlı olarak uygulanması gereken hastalarda sıvı hatlarının tek bir aparat üzerinden kontrollü biçimde yönetilmesine yönelik geliştirilmiştir. Patent dokümanında mevcut üç yollu muslukların ikiden fazla sıvı uygulanması gerektiğinde birbirine eklenmesinin bağlantı sayısını artırdığı; bunun bağlantıların gevşemesi, ayrılması, sıvı akışının kesilmesi ve tıkanıklığın fark edilmesinin güçleşmesi gibi sorunlar oluşturabileceği belirtilmektedir.

Geliştirilen sistemin dört farklı sıvının tek parça bir aparat aracılığıyla eş zamanlı ve kontrollü uygulanmasına yönelik olduğu belirtilmektedir. Tek parça tasarımın çok sayıda bağlantıya duyulan gereksinimi azaltması, aparatın şeffaf yapısının ise akış yollarının ve olası tıkanıklıkların gözle izlenebilmesini desteklemesi amaçlanmaktadır (Şekil 3).



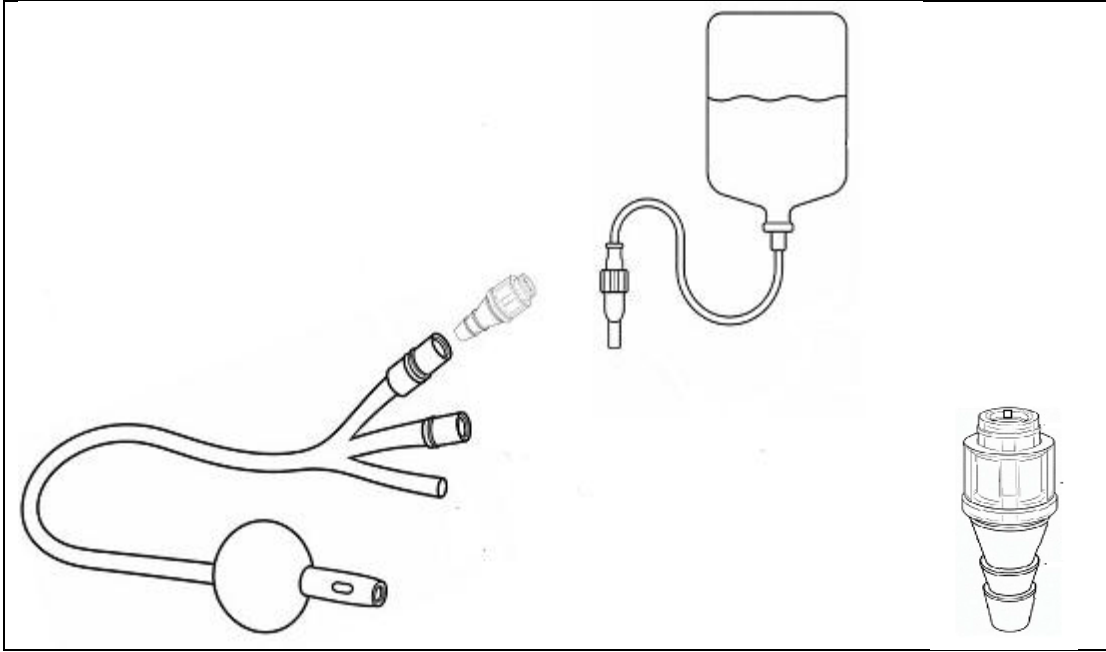
Şekil 3. Çok Yollu Musluk

Hemşirelik açısından bu tasarımın özellikle çoklu intravenöz tedavi alan hastalarda hatların düzenlenmesi, akışın izlenmesi ve bağlantıların yönetimi açısından kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Bununla birlikte patent dokümanında ileri sürülen enfeksiyon veya komplikasyon riskinin azalmasına ilişkin yararların klinik çalışmalarla ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.

4. Venöz Valf Başlıklı Foley Kateter İrrigasyon Lümeni Bağlantı ve Stoperi

Bu buluş, prostat veya mesane kaynaklı hematürisi bulunan ya da bu organlara yönelik cerrahi girişim geçiren hastalarda kullanılan üç yollu Foley kateterlerin irrigasyon lümenine yönelik geliştirilmiştir. Sistem, serum seti ile Foley kateter irrigasyon lümeni arasında sızdırmaz bağlantı oluşturmayı ve bağlantı/ayırma sırasında geri akış ile sıvı kaçışını önlemeyi amaçlamaktadır.

Buluştaki yer alan valf mekanizması serum seti bağlandığında açılmakta, bağlantı kesildiğinde ise kendiliğinden kapanarak kapalı sistem bütünlüğünün sürdürülmesine yönelik çalışmaktadır. Valfin yalnızca ileri yönde sıvı geçişine izin vermesi; geri akış, sıçrama ve damlamanın sınırlandırılmasını amaçlamaktadır. Ayrıca farklı tip ve çaptaki serum setlerine uyum sağlamak üzere konik ve çok kademeli bir bağlantı yapısı tasarlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Venöz Valf Başlıklı Foley Kateter İrrigasyon Lümeni Bağlantı ve Stoperi

Hemşirelik uygulamaları açısından bu sistem; mesane irrigasyonu sırasında bağlantının güvenliğinin sağlanması, kapalı sistem bütünlüğünün korunması ve sağlık çalışanının kan, idrar ve irrigasyon sıvılarıyla temasının sınırlandırılmasına yönelik bir teknoloji olarak değerlendirilebilir. Patent dokümanı da buluşun kontaminasyon riskini ve biyolojik sıvılara maruziyeti azaltmaya yönelik tasarlandığını belirtmektedir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada incelenen dört buluş, invaziv hemşirelik uygulamalarında birbirinden farklı ancak birbirini tamamlayan güvenlik sorunlarına teknolojik çözümler sunmaktadır. Buluşlar birlikte değerlendirildiğinde inovasyonların damar yolunun belirlenmesinden girişimin stabilizasyonuna, intravenöz tedavinin yönetiminden üriner irrigasyon sırasında kapalı sistemin korunmasına kadar uzanan bir bakım sürecine yayıldığı görülmektedir.

Damar yolunu göstermeye yönelik cihaz ve kol sabitleme aparatı, periferik vasküler girişimin gerçekleştirilmesi aşamasına odaklanmaktadır. Birincisi damar görünürlüğünü artırmaya yönelik optik bir yaklaşım sunarken, ikincisi girişim sırasında ekstremitte hareketini sınırlandırmaya yönelik mekanik bir çözüm sunmaktadır. Damar bulucu cihazda kol bandı ve iğne kızıağının aynı sistem içerisinde yer alması, görüntüleme ile girişim stabilizasyonunun bütünleştirilmesi açısından dikkat çekicidir.

Çok yollu musluk ise girişim sonrasında intravenöz tedavinin sürdürülmesine odaklanmaktadır. İnfüzyon tedavisinin güvenli ve standardize biçimde yönetilmesi, vasküler erişim bakımının önemli bir bileşenidir (Nickel ve ark., 2024). Özellikle birden fazla sıvının uygulanması gereken hastalarda bağlantı sayısının artması, klinik uygulamanın yönetimini karmaşıktırabilir. Patent dokümanında geliştirilen tek parça ve şeffaf yapının bu soruna yönelik olduğu görülmektedir. Bu özellikler, hemşirenin intravenöz tedavi hatlarını organize etmesi ve akışı gözlemlemesi açısından uygulama kolaylığı sağlayabilecek niteliktedir.

Foley kateter irrigasyon bağlantı ve stoperi ise invaziv üriner bakımda **kapalı sistem yaklaşımını** öne çıkarmaktadır. Üriner kateter bakımında kapalı drenaj sisteminin bütünlüğünün korunması önerilmektedir (CDC, 2024). Kendiliğinden kapanan tek yönlü valf yapısının geri akış ve sıvı temasını sınırlandırmaya yönelik tasarlanması, yalnızca hasta

güvenliği açısından değil, sağlık çalışanının biyolojik sıvılara maruziyetinin önlenmesine yönelik yaklaşım açısından da önemlidir.

Bu buluşların ortak özelliği, klinik uygulamada karşılaşılan somut sorunlardan hareketle geliştirilmiş olmalarıdır. Bu durum hemşirelikte inovasyon açısından önemlidir. Hemşirelik inovasyonu yalnızca ileri teknoloji kullanımından ibaret olmayıp; uygulamanın daha güvenli, izlenebilir, ergonomik ve yönetilebilir hale getirilmesine yönelik basit veya ileri teknolojik çözümleri de kapsamaktadır. İncelenen buluşların bazıları mekanik tasarım değişikliklerine, bazıları ise optik ve teknik sistemlere dayansa da tamamında hasta bakımındaki belirli bir sorunun çözümüne yönelik yaklaşım bulunmaktadır.

Bununla birlikte, patent veya faydalı model başvurusunun bir ürünün klinik etkinliğini kanıtlamadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Patent dokümanlarında belirtilen enfeksiyon riskinin azalması, girişim doğruluğunun artması, komplikasyonların önlenmesi veya iş yükünün azalması gibi yararlar buluş sahiplerinin tasarım gerekçeleri ve öngörülen avantajlarıdır. Bu nedenle söz konusu teknolojilerin klinik uygulamaya katkılarının; kullanılabilirlik, hasta ve sağlık çalışanı güvenliği, enfeksiyon kontrolü, hasta konforu, işlem başarısı, maliyet ve hemşire iş yükü gibi sonuçlar üzerinden yapılacak araştırmalarla değerlendirilmesi gerekmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen 2026 yılı patent ve faydalı model başvuruları, invaziv hemşirelik uygulamalarının farklı aşamalarına yönelik çeşitli inovatif yaklaşımların geliştirildiğini göstermektedir. Damar yolunun görünür hale getirilmesini amaçlayan cihaz, ekstremitte stabilizasyon aparatı, çoklu intravenöz sıvı yönetimine yönelik musluk sistemi ve Foley kateter irrigasyonunda kapalı sistem bütünlüğünü destekleyen valfli bağlantı aparatı; girişimin hazırlanması, gerçekleştirilmesi ve sürdürülmesi sırasında güvenliği desteklemeye yönelik farklı teknolojik yaklaşımlar sunmaktadır.

Bu buluşların hemşirelik bakımına entegrasyonundan önce klinik ortamlarda kullanılabilirlik ve güvenliklerinin değerlendirilmesi; hasta sonuçları, hemşire iş yükü ve uygulama kolaylığı üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir. Ayrıca hemşirelerin klinik uygulamada karşılaştıkları sorunları inovatif ürün geliştirme süreçlerine aktarmalarının ve patent/faydalı model çalışmalarında multidisipliner ekiplerle iş birliği yapmalarının desteklenmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- Centers for Disease Control and Prevention. (2024, March 25). *Summary of recommendations: Guideline for prevention of catheter-associated urinary tract infections (2009)*.
- Conte G, Arrigoni C, Magon A, Stievano A, Caruso R. Embracing digital and technological solutions in nursing: A scoping review and conceptual framework. *Int J Med Inform.* 2023 Sep;177:105148. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2023.105148>
- Guo, Y., Jiang, Y., Zhao, Y., Zhao, Y., Chen, D., Zhang, Y., Shao, J., Zhang, H., & Tang, L. (2026). Nurses' innovative use of information systems: A narrative review. *Frontiers in Public Health*, 14, 1808207. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1808207>
- Marsh, N., Larsen, E. N., Ullman, A. J., Mihala, G., Cooke, M., Chopra, V., Ray-Barruel, G., & Rickard, C. M. (2024). Peripheral intravenous catheter infection and failure: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 151, 104673. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2023.104673>
- Nickel, B., Gorski, L., Kleidon, T., Kyes, A., DeVries, M., Keogh, S., Meyer, B., Sarver, M. J., Crickman, R., Ong, J., Clare, S., & Hagle, M. E. (2024). Infusion therapy standards of practice, 9th edition. *Journal of Infusion Nursing*, 47(1S Suppl 1), S1–S285. <https://doi.org/10.1097/NAN.0000000000000532>
- World Health Organization. (2024). *Guidelines for the prevention of bloodstream infections and other infections associated with the use of intravascular catheters: Part I: Peripheral catheters*. World Health Organization.

YALITIM UYGULAMALARI İÇİN GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT-LDPE KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ

Doç. Dr.Görkem GEDİK

Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, 20170 Pamukkale, Denizli

ORCID ID: 0000-0003-1483-5466

Dilek AYKAN TANTUNÇ

Küçüker Textile, R&D Center, 20170 Pamukkale, Denizli

ORCID ID: 0000-0002-0398-5242

Fatma GÜMÜŞ

Küçüker Textile, R&D Center, 20170 Pamukkale, Denizli

ORCID ID: 0009-0001-8322-7838

Ayça BÜYÜKTUNCER

Küçüker Textile, R&D Center, 20170 Pamukkale, Denizli

ORCID ID: 0009-0000-6156-0990

ÖZET

Düşük yoğunluk, etkin ısı yalıtım ve işlevsel performans özelliklerini bir arada sunan hafif yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi, polimer esaslı kompozit malzeme araştırmalarının öne çıkan çalışma alanlarından biridir. Perlit; gözenekli yapısı, düşük yoğunluğu ve düşük ısı iletkenlik özelliği nedeniyle yalıtım uygulamalarında değerlendirilen mineral esaslı bir hammaddedir. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ise esnekliği, hafifliği, kolay işlenebilirliği ve termoplastik yapısı nedeniyle farklı kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, toz formda geliştirilmiş perlitin LDPE polimer matrisine ilave edilmesiyle kompozit bir malzemenin geliştirilmesi ve perlit katkısının malzemenin yapısal ve ısı özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan geliştirilmiş perlitin yüzey morfolojisi, gözenek yapısı ve parçacık özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) analiziyle incelenmiştir. Çalışma kapsamında toz LDPE ve toz geliştirilmiş perlit belirlenen reçete oranlarında homojen bir yapı elde edilecek şekilde mekanik olarak karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım ısı pres yöntemi kullanılarak kompozit panel formuna dönüştürülmüştür. Elde edilen numunenin yoğunluk, kalınlık, birim alan kütlesi, mekanik karakteristiği ve ısı iletkenliği gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Isı iletkenlik analizi sonucunda perlit katkılı LDPE kompozitinin ısı iletkenlik katsayısının 0,25 W/mK değerine kadar düştüğü görülmüştür. Elde edilen bulgular, perlit katkısının LDPE esaslı kompozit malzemenin yapısal özellikleri ve ısı iletim davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesini sağlamıştır. Çalışma, mineral katkılı termoplastik kompozitlerin hafif yalıtım uygulamalarında değerlendirilmesine yönelik deneysel veri sunmuştur.

Anahtar kelimeler: Genleştirilmiş perlit, LDPE, polimer kompozit, ısı izolasyon

DEVELOPMENT OF AN EXPANDED PERLITE- LDPE COMPOSITE MATERIAL FOR INSULATION APPLICATIONS

ABSTRACT

The development of lightweight insulation materials that combine low density, effective thermal insulation, and functional performance is one of the prominent research areas in polymer-based composite materials. Perlite is a mineral-based raw material widely considered

for insulation applications due to its porous structure, low density, and low thermal conductivity. Low-density polyethylene (LDPE), on the other hand, is commonly used as a polymer matrix in various composite materials because of its flexibility, lightweight nature, ease of processing, and thermoplastic characteristics. This study aimed to develop a composite material by incorporating powdered expanded perlite into an LDPE polymer matrix and to investigate the effects of perlite addition on the structural and thermal properties of the resulting material. The surface morphology, pore structure, and particle characteristics of the expanded perlite were examined using scanning electron microscopy (SEM). Powdered LDPE and expanded perlite were mechanically mixed at predetermined formulation ratios to obtain a homogeneous mixture. The prepared mixture was subsequently consolidated into composite panels using a thermal pressing process. The resulting composite samples were characterized in terms of density, thickness, mass per unit area, mechanical properties, and thermal conductivity. Thermal conductivity measurements revealed that the perlite-filled LDPE composite exhibited a thermal conductivity coefficient up to $0.25\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. The results enabled the effects of expanded perlite incorporation on the structural characteristics and heat-transfer behavior of the LDPE-based composite to be evaluated. Overall, this study provides experimental data on the development and potential application of mineral-filled thermoplastic composites for lightweight insulation systems.

Keywords: Expanded perlite, LDPE, polymer composite, thermal insulation

1. INTRODUCTION

The global construction sector is currently responsible for approximately 40% of energy-related carbon dioxide emissions and over 40% of total energy use, presenting a critical environmental challenge that demands the development of low-carbon, sustainable building materials (Hzami & Abu-Rayash, 2026; Szlachetka & Dzięcioł, 2026). To mitigate these impacts, improving the thermal efficiency of building envelopes through high-performance thermal insulation panels has become a primary strategy, as it directly reduces heating and cooling energy consumption (Liu et al., 2025; Szlachetka & Dzięcioł, 2026). In recent years, researchers have turned to inorganic mineral fillers to develop sustainable and lightweight composite insulation systems that combine structural viability with exceptional thermal resistance (Çavdaroglu et al., 2024; Yeşilyurt & Uysal, 2025). Among these mineral options, expanded perlite (EP) has emerged as a promising candidate due to its abundance, low cost, and environmentally friendly nature (Yeşilyurt & Uysal, 2025).

Expanded perlite is a lightweight, porous volcanic glass formed naturally when rhyolitic volcanic rock, or obsidian, comes into contact with water (Hzami & Abu-Rayash, 2026; Szlachetka & Dzięcioł, 2026). The raw perlite ore contains approximately 2% to 6% chemically combined water (Hzami & Abu-Rayash, 2026; Szlachetka & Dzięcioł, 2026). When subjected to rapid thermal treatment in the range of $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, the combined water vaporizes and causes the material to expand 4 to 20 times its original volume, resulting in a cellular, honeycomb-like structure with high porosity (Hzami & Abu-Rayash, 2026; Szlachetka & Dzięcioł, 2026; Viskadourakis et al., 2025). In its expanded form, perlite exhibits a very low loose bulk density of 25 to $400\text{ kg}/\text{m}^3$, an exceptionally low thermal conductivity typically ranging from 0.034 to 0.06 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, Class A fire resistance, sound insulation, and chemical inertness (Hzami & Abu-Rayash, 2026; Szlachetka & Dzięcioł, 2026; Viskadourakis et al., 2025). Consequently, EP has been widely utilized as a green filler in various cementitious matrices, geopolymers, plasters, and elastomer composites to enhance thermal insulation and reduce structural weight

(Çavdaroglu et al., 2024; Hzami & Abu-Rayash, 2026; Szlachetka & Dziecioł, 2026; Viskadourakis et al., 2025).

Integrating expanded perlite into organic polymer matrices has gained significant research interest as it combines the ductility and processability of polymers with the thermal stability, lightweight characteristics, and fire resistance of the inorganic filler (Çavdaroglu et al., 2024; Yeşilyurt & Uysal, 2025). Fillers are typically blended with polymers to optimize the balance between physical performance and manufacturing costs (Yeşilyurt & Uysal, 2025; Çavdaroglu et al., 2024). Prior studies have demonstrated the successful preparation of perlite-reinforced composites using polymers such as ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber (Çavdaroglu et al., 2024), polypropylene (Yeşilyurt & Uysal, 2025), and polyethylene matrices (Çavdaroglu et al., 2024; Yeşilyurt & Uysal, 2025). In particular, research on low-density polyethylene (LDPE) composites containing expanded perlite, such as those conducted by Sahraeian and Esfandeh (2017) and Sahraeian et al. (2012), has indicated significant improvements in thermal properties, morphology, and dynamic mechanical behaviors (Çavdaroglu et al., 2024; Yeşilyurt & Uysal, 2025). However, a major challenge in developing such organic-inorganic composites lies in the poor interfacial compatibility between the polar hydrophilic perlite particles, which possess active silanol groups on their surface, and the nonpolar hydrophobic polymer matrix (Yeşilyurt & Uysal, 2025; Çavdaroglu et al., 2024). This polarity mismatch often leads to particle agglomeration and voids at high perlite loadings, which can reduce mechanical properties, such as tensile and impact strengths (Yeşilyurt & Uysal, 2025; Çavdaroglu et al., 2024).

Hot pressing (thermal pressing) is a highly effective fabrication technique that applies simultaneous heat and pressure to melt the polymer powder, allowing it to wet the perlite surfaces and consolidate into dense, void-free panels with customized dimensions and enhanced insulation properties (Yeşilyurt & Uysal, 2025; Çavdaroglu et al., 2024).

Despite the promising prospects of utilizing expanded perlite in thermoplastic matrices, there is limited literature on the systematic evaluation of panels fabricated specifically from powdered low-density polyethylene (LDPE) and expanded perlite using thermal pressing for building thermal insulation. The present study aims to fill this knowledge gap by fabricating composite panels using powder-form LDPE and expanded perlite via a thermal press method. The effects of perlite concentration on the physical, mechanical, and thermal properties of the composites are systematically evaluated. Through, thermal conductivity testing, and mechanical characterization, this research establishes quantitative relationships to optimize the panel formulation, seeking a delicate balance between structural integrity and thermal insulation efficiency. The findings contribute a practical, eco-friendly, and cost-effective solution for retrofitting and new construction applications, supporting the global transition toward energy-efficient, net-zero buildings.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Production of perlite-LDPE composite panels

In this study, powdered LDPE was mechanically blended with expanded perlite at polymer-to-perlite ratios of 10% and 20%. Expanded perlite powders with two different mean particle sizes, 68 μm (M3) and 610 μm (M1), were employed. Perlite-LDPE composite panels were fabricated from the prepared blends using a thermal press (Haşmet Makine) at 160 °C. Three step pressure-time regime was applied: 10 bar for 120 s, 20 bar for 90 s, and 30 bar for 60 s. Subsequently, the composite panels were cooled to 15 °C. Also, neat polymer panels were

produced with the same parameters. Sample productions were carried out in Denizli Technical Textile Center (DTTM).

2.2. Thermal conductivity measurement

The thermal conductivity coefficients of the fabricated composite samples were measured using a KEM QTM-500 thermal conductivity meter. Measurements were performed at a minimum of five different locations on each sample, and the average of these measurements was taken as the thermal conductivity coefficient of the corresponding sample.

2.3. SEM imaging

The surface morphology of expended perlite particles were monitored with Zeis Gemini FESEM with acceleration voltage of 10 kV.

2.4. Determination of mechanical properties

Tensile tests were performed using a Tinius Olsen H10KT universal testing machine in accordance with ASTM D6856 to determine the tensile strength and elongation of the composite samples. A crosshead speed of 50 mm/min and a gauge length of 50 mm were used throughout the tests.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To investigate morphology and porous characteristics of expanded perlite powders, SEM imaging was employed. The SEM images of the perlite powders are seen in Figure 1.

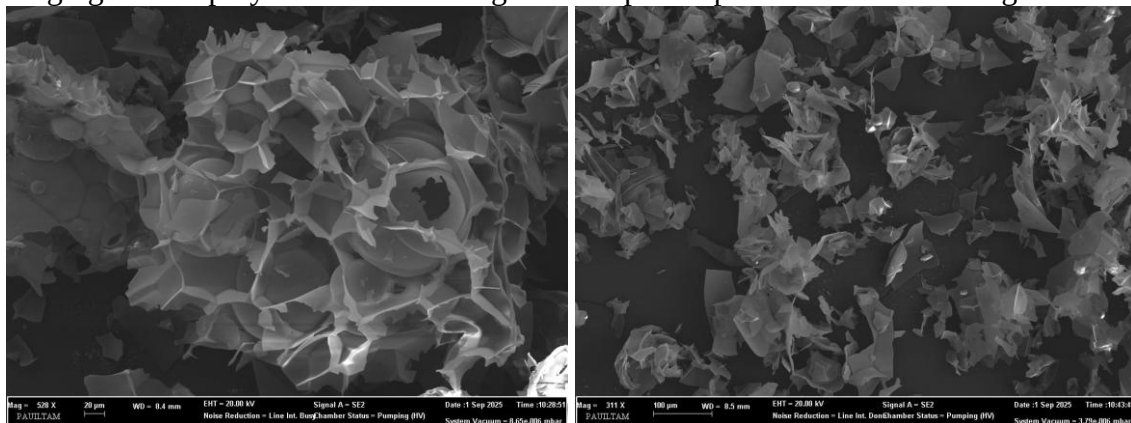


Figure 1. SEM images of expanded perlite powders (M1 on the left, M3 on the right)

The porous structure of the expanded perlite powders is clearly visible in the SEM images presented in Figure 1. This porous morphology is particularly advantageous for thermal insulation, as the pores within the perlite particles act as small air pockets that restrict heat transfer through the material. The thermal conductivity results of the perlite-containing LDPE panels presented in Figure 2 further support this interpretation.

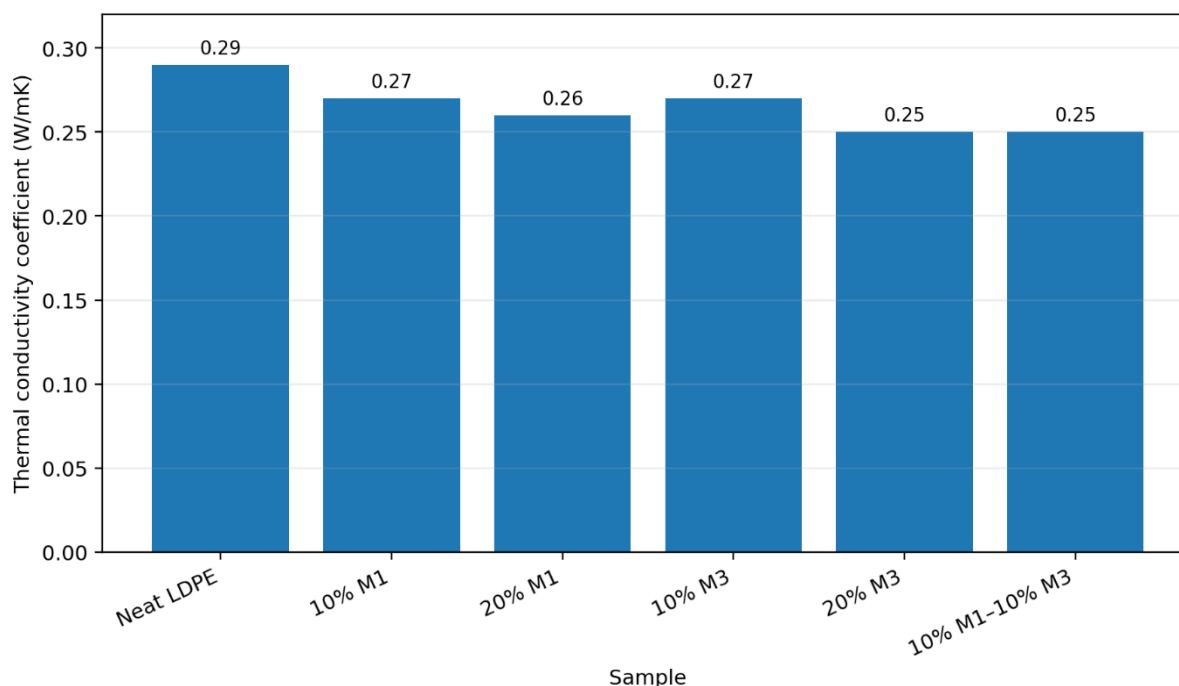


Figure 2. Thermal conductivity coefficients of neat LDPE and expanded perlite–LDPE composites.

The thermal conductivity coefficients of the neat LDPE and expanded perlite–LDPE composites are presented in Figure 2. Neat LDPE exhibited a thermal conductivity coefficient of 0.29 W/mK, whereas the incorporation of expanded perlite resulted in slightly lower values, ranging from 0.25 to 0.27 W/mK. This reduction indicates that the addition of expanded perlite improves the thermal insulation performance of the LDPE matrix, although the differences among the composite formulations were relatively small. At a perlite content of 10%, both M1 (610 μm) and M3 (68 μm) exhibited the same thermal conductivity coefficient of 0.27 W/mK, suggesting that particle size had no pronounced effect at this concentration. When the perlite content was increased to 20%, the thermal conductivity decreased to 0.26 W/mK for M1 and 0.25 W/mK for M3. Thus, the finer M3 particles resulted in slightly lower thermal conductivity at the higher perlite content; however, the difference between the two particle sizes was limited. The composite containing a combination of 10% M1 and 10% M3 also exhibited a thermal conductivity coefficient of 0.25 W/mK. The lowest thermal conductivity value of 0.25 W/mK corresponds to an approximately 13.8% reduction compared with neat LDPE. Overall, these results demonstrate that the incorporation of expanded perlite provides a modest improvement in the thermal insulation performance of LDPE, while the effect of perlite particle size remains relatively minor within the investigated range.

The effect of expanded perlite addition on the mechanical properties of the LDPE composites is presented in Table 1.

Table 1. Tensile strength and elongation properties of the samples

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Neat LDPE	17.4	16.4
10% M1	10.5	9.12
10% M3	11.5	9.41
20% M3	9.5	6.45
10-10% M1-M3	6.6	5.13

Neat LDPE exhibited the highest tensile strength and elongation values, with 17.4 MPa and 16.4%, respectively. The incorporation of expanded perlite resulted in a reduction in both tensile strength and elongation. At a perlite content of 10%, the M1- and M3-containing composites exhibited tensile strengths of 10.5 and 11.5 MPa, respectively, while their corresponding elongation values were 9.12% and 9.41%. Although the difference was relatively small, the composite containing the finer M3 particles (68 μm) showed slightly better mechanical performance than that containing the coarser M1 particles (610 μm). Increasing the M3 content from 10% to 20% further reduced the tensile strength from 11.5 to 9.5 MPa and the elongation from 9.41% to 6.45%. The lowest mechanical properties were observed for the composite containing a combination of 10% M1 and 10% M3, with a tensile strength of 6.6 MPa and an elongation of 5.13%. The decrease in tensile properties may be attributed to the rigid and porous nature of the expanded perlite particles, which can restrict the deformation of the LDPE matrix and act as stress-concentration sites under tensile loading. Furthermore, insufficient interfacial interaction between the perlite particles and the polymer matrix may contribute to inefficient stress transfer, resulting in reduced tensile strength and elongation.

4. CONCLUSIONS

Considering the thermal and mechanical properties together, the incorporation of expanded perlite into the LDPE matrix resulted in a trade-off between thermal insulation performance and mechanical properties. The thermal conductivity coefficient decreased from 0.29 W/mK for neat LDPE to values between 0.25 and 0.27 W/mK for the perlite-containing composites, corresponding to a maximum reduction of approximately 13.8%. This reduction indicates an improvement in the thermal insulation performance of the composites. In contrast, the incorporation of expanded perlite resulted in reductions in both tensile strength and elongation. These changes may be associated with the porous and rigid structure of expanded perlite particles, which is advantageous for limiting heat transfer but may restrict the deformation of the LDPE matrix and introduce stress-concentration sites under tensile loading. Among the composites containing 10% perlite, the finer M3 particles (68 μm) provided slightly better tensile strength and elongation than the coarser M1 particles (610 μm), while both exhibited the same thermal conductivity coefficient of 0.27 W/mK. Increasing the perlite content generally provided a further reduction in thermal conductivity, but this improvement was accompanied by a more pronounced deterioration in mechanical properties. Therefore, the selection of perlite content and particle size should consider the balance between the required thermal insulation performance and mechanical properties for the intended application. Future research will focus on optimizing the composite formulation to further enhance its thermal insulation performance.

REFERENCES

- Çavdaroglu, C., Olgun, U., & Altuncu, E. (2024). Use of expanded perlite as green filler for the preparation of EPDM-perlite rubber composites with improved thermal stability and insulation properties. *Polymer Composites*, 45(14), 12754–12772. <https://doi.org/10.1002/pc.28665>
- Eyupoglu, S., Dayioglu, H., Merdan, N., & Kilinc, M. (2018). The effects of perlite concentration and coating thickness of the polyester nonwoven structures on thermal and acoustic insulation and also electromagnetic radiation properties. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 24(1), 100–103. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ms.24.1.17562>
- Hkami, A., & Abu-Rayash, A. (2026). Expanded perlite as a sustainable building material: A systematic review of properties and performance. *Buildings*, 16(01724), 1–31. <https://doi.org/10.3390/buildings1601724>
- Liu, Y., Ma, L., Jiang, W., Li, Q., Qiao, M., Fan, S., & Li, D. (2025). Experimental study on thermal properties of foamed concrete with expanded perlite aggregate particle size and gradation. *Journal of Building Engineering*, 114, 114338. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.114338>
- Manasoglu, G., & Kanik, M. (2022). Investigation of thermal and solar properties of perlite coated woven fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(4), e51543. <https://doi.org/10.1002/app.51543>
- Szlachetka, O., & Dzięcioł, J. (2026). Expanded perlite in civil engineering: A review of its potential for low-carbon and circular construction. *Sustainability*, 18(01479), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su18011479>
- Viskadourakis, Z., Angelopoulos, P. M., Orfanou, M., Drymiskianaki, A., Manousaki, A., Koudoumas, E., Taxiarchou, M., & Kenanakis, G. (2025). Low thermal conductivity plaster – perlite microsphere composites as potential thermal insulation materials in building construction. *International Journal of Thermophysics*, 46, 101. <https://doi.org/10.1007/s10765-025-03572-y>
- Yeşilyurt, A., & Uysal, N. (2025). Evaluation of properties of polypropylene matrix composites reinforced with perlite, expanded perlite, silanized expanded perlite, and talc fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, e57695. <https://doi.org/10.1002/app.57695>

ARIL AMINOESTER TÜREVLERİNİN *LEISHMANIA MAJOR*, *LEISHMANIA TROPICA* VE *LEISHMANIA INFANTUM* PROMASTIGOTLARINA KARŞI İN VITRO ANTILEISHMANIAL AKTİVİTELERİ İLE SİTOTOKSİK ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Baycan MOR

Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Kars, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-9480-3143

ÖZET

Leishmaniasis, farklı *Leishmania* türleri tarafından oluşturulan ve dünya genelinde önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam eden ihmal edilmiş tropikal hastalıklardan biridir. Mevcut tedavi seçeneklerinin sınırlı olması, ilaç direnci ve kullanılan ilaçların toksisite sorunları, yeni antileishmanial ajanların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, altı ticari aril aminoester türevinin *Leishmania major*, *Leishmania tropica* ve *Leishmania infantum* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri ile insan umbilikal ven endotel hücreleri (HUVEC) üzerindeki sitotoksik etkileri değerlendirilmiştir. Antileishmanial aktivite, promastigotların farklı konsantrasyonlardaki (3.125–200 μ M) bileşiklerle 24 saat inkübasyonunun ardından Cell Viability Detection Kit-8 (CVDK-8; EcoTech, Türkiye) kiti kullanılarak belirlenmiş ve yarı maksimal inhibitör konsantrasyon (IC_{50}) değerleri hesaplanmıştır. Sitotoksikite analizi aynı konsantrasyon aralığında HUVEC hücreleri üzerinde gerçekleştirilmiş, miltefosin ise referans ilaç olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, test edilen bileşiklerin genel olarak düşük antileishmanial aktivite sergilediğini göstermiştir. *L. tropica*'ya karşı yalnızca 3 numaralı bileşik sınırlı düzeyde aktivite gösterirken ($IC_{50} = 162.4 \mu$ M), *L. infantum* üzerinde 3, 5 ve 6 numaralı bileşiklerde zayıf düzeyde aktivite belirlenmiş, *L. major* üzerinde ise test edilen bileşiklerin hiçbirinde çalışma konsantrasyon aralığında %50 inhibisyon elde edilememiştir. HUVEC hücrelerinde ise bileşiklerin tamamının 200 μ M konsantrasyona kadar belirgin sitotoksik etki oluşturmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, değerlendirilen ticari bileşikler güçlü antileishmanial aktivite göstermemekle birlikte, düşük sitotoksikite profilleri bu moleküllerin gelecekte gerçekleştirilecek yapı-aktivite ilişkisi ve kimyasal optimizasyon çalışmalarında başlangıç molekülü olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: *Leishmania*, antileishmanial aktivite, sitotoksikite, HUVEC, aril aminoester, CVDK-8.

EVALUATION OF THE *IN VITRO* ANTILEISHMANIAL ACTIVITIES AND CYTOTOXIC EFFECTS OF ARYL AMINOESTER DERIVATIVES AGAINST THE PROMASTIGOTES OF *LEISHMANIA MAJOR*, *LEISHMANIA TROPICA*, AND *LEISHMANIA INFANTUM*

ABSTRACT

Leishmaniasis is a neglected tropical disease caused by different *Leishmania* species and remains a major public health concern worldwide. The limitations of current treatment options,

the emergence of drug resistance, and the toxicity associated with existing drugs highlight the urgent need for the development of novel antileishmanial agents. In the present study, the *in vitro* antileishmanial activities of six commercially available aryl aminoester derivatives against the promastigote forms of *Leishmania major*, *Leishmania tropica*, and *Leishmania infantum*, as well as their cytotoxic effects on human umbilical vein endothelial cells (HUVECs), were evaluated. Antileishmanial activity was determined using the Cell Viability Detection Kit-8 (CVDK-8; EcoTech, Türkiye) following 24 h of incubation of promastigotes with the compounds at concentrations ranging from 3.125 to 200 µM, and half-maximal inhibitory concentration (IC₅₀) values were calculated. Cytotoxicity was assessed in HUVEC cells over the same concentration range, with miltefosine used as the reference drug. The results demonstrated that the tested compounds generally exhibited low antileishmanial activity. Against *L. tropica*, only compound 3 displayed limited activity (IC₅₀ = 162.4 µM), whereas compounds 3, 5, and 6 exhibited weak activity against *L. infantum*. None of the tested compounds achieved 50% inhibition against *L. major* within the evaluated concentration range. Furthermore, none of the compounds produced significant cytotoxic effects on HUVEC cells at concentrations up to 200 µM. In conclusion, although the evaluated commercial compounds did not exhibit potent antileishmanial activity, their low cytotoxicity profiles suggest that these molecules may serve as promising starting scaffolds for future structure–activity relationship studies and chemical optimization aimed at the development of novel antileishmanial agents.

Keywords: *Leishmania*, antileishmanial activity, cytotoxicity, HUVEC, aryl aminoester, CVDK-8.

1. GİRİŞ

Leishmaniasis, günümüzde önemini koruyan ihmal edilmiş tropikal hastalıklardan biri olup, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde önemli bir halk sağlığı yükü oluşturmaktadır. Hastalığın epidemiyolojisi; iklim değişikliği, kentleşme, nüfus hareketliliği ve çevresel değişiklikler gibi faktörlerin etkisiyle sürekli değişmekte, bu durum hem yeni endemik odakların ortaya çıkmasına hem de mevcut odakların genişlemesine neden olmaktadır. Ayrıca yetersiz surveyans sistemleri ve eksik olgu bildirimi nedeniyle hastalığın gerçek yaygınlığının tam olarak belirlenemediği, bu durumun ise kontrol programlarının etkinliğini sınırlandırdığı bildirilmektedir (Geto vd., 2024; Fotakis vd., 2024; Abebe vd., 2025; Mohammed vd., 2026). İnsanlarda enfeksiyona neden olan *Leishmania* türleri arasında *L. tropica*, *L. infantum* ve *L. major*, klinik ve epidemiyolojik açıdan en önemli etkenler arasında yer almaktadır. *L. tropica* ve *L. major* çoğunlukla kutanöz leishmaniasisten sorumlu olup, kronik deri lezyonları ve kalıcı skar oluşumuna neden olabilmektedir. Buna karşılık *L. infantum*, başlıca zoonotik visseral leishmaniasis etkeni olarak bilinmekle birlikte bazı bölgelerde kutanöz enfeksiyonlarla da ilişkilendirilmektedir. Türlerin coğrafi dağılımı, rezervuar konakları ve bulaş dinamiklerindeki farklılıklar, tanı, tedavi ve kontrol stratejilerinin tür bazında değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Sánchez vd., 2020; Manathunga vd., 2026).

Leishmaniasis tedavisinde kullanılan mevcut ilaçlar, özellikle toksisite, uzun tedavi süresi, parenteral uygulama gereksinimi, yüksek maliyet ve giderek artan ilaç direnci gibi nedenlerle önemli sınırlılıklara sahiptir. Bunun yanında, pentavalan antimon bileşikleriyle miltefosine karşı gelişen direnç ve tedavi başarısızlıklarının birçok endemik bölgede artış göstermesi, daha güvenli ve etkili antileishmanial ajanların geliştirilmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır. Bu amaçla son yıllarda sentetik küçük moleküller, doğal ürünler ve yüksek verimli tarama

yaklaşımlarına dayalı çok sayıda ilaç keşif çalışması yürütülmektedir (Pinheiro & Souza, 2022; Sharifi vd., 2023; Singh vd., 2023; Perez vd., 2024; Souza vd., 2025).

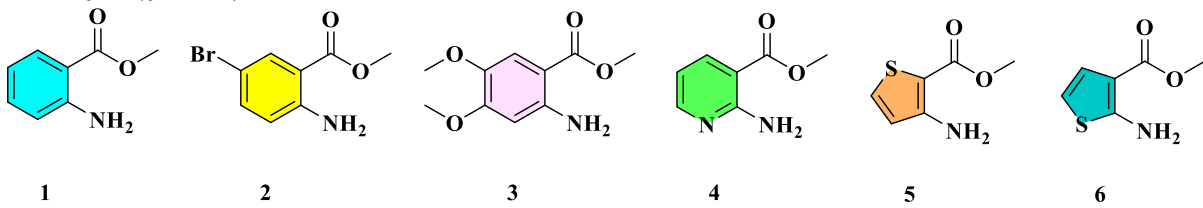
Aril aminoester türevleri, yapılarında bulunan primer amino grubu ve ester fonksiyonelliği sayesinde çok yönlü sentetik ara ürünler olarak öne çıkmaktadır. Bu bileşikler, kinazolinonlar, benzimidazoller, kinazolinler ve çeşitli N-heterosiklik sistemler başta olmak üzere çok sayıda biyolojik açıdan önemli iskeletin sentezinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, aril aminoester çekirdeği tek başına da dikkat çekici biyolojik özellikler sergileyebilmekte; antimikrobiyal, antifungal, antitümör, antiinflamatuvar ve antiparaziter aktiviteler gösteren çok sayıda türevin geliştirilmesine temel oluşturmaktadır (Heindel vd., 1968; Prasher & Sharma, 2021; Shaaban vd., 2022). Özellikle aromatik halkadaki elektronik ve sterik özellikleri değiştiren süstituentler ile benzen halkasının piridin veya tiyofen gibi heteroaromatik sistemlerle değiştirilmesi, bileşiklerin fizikokimyasal özelliklerini ve biyolojik aktivitelerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, farklı aril aminoester türevlerinin sentezi ve biyolojik potansiyellerinin araştırılması, yeni biyoaktif moleküllerin geliştirilmesine yönelik güncel ve ilgi çekici araştırma alanlarından biri olarak önemini korumaktadır.

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilen altı farklı aril aminoester bileşiğinin *Leishmania tropica*, *Leishmania infantum* ve *Leishmania major* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktivitelerinin değerlendirilmesi ve HUVEC hücrelerindeki sitotoksik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Parazit izolatları ve test bileşikler

Bu çalışmada kullanılan *Leishmania major* (MHOM/TR/2014/CBCL-LM), *Leishmania tropica* (MHOM/AZ/1974/SAF-K27) ve *Leishmania infantum* (MHOM/TN/1980/IPT1) izolatları, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Parazitoloji Anabilim Dalı Parazit Bankası'ndan temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan bileşikler (metil antranilat (1), 5-bromo metil antranilat (2), 4,5-dimetoksi metil antranilat (3), metil 2-aminonikotinat (4), metil 3-aminotiyofen-2-karboksilat (5) ve metil 2-aminotiyofen-3-karboksilat (6)) ticari olarak temin edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan aril aminoesterler

2.2. *Leishmania* promastigotlarının kültürü

Bu çalışmada kullanılan *L. major*, *L. tropica* ve *L. infantum* promastigotları, sıvı azotta (−196 °C) kriyoprezerve edilmiş stok kültürlerden alınarak 37 °C su banyosunda hızlı bir şekilde çözündürülmüştür. Çözündürme işleminin ardından parazitler aseptik koşullar altında Novy–MacNeal–Nicolle (NNN) besiyerine aktarılmış, daha sonra %10 ısı ile inaktive edilmiş fetal bovin serum (FBS), %1.1 gentamisin ve %1.1 penisilin-streptomisin içeren RPMI-1640 besiyerinde 27 °C'de kültüre edilmiştir. Logaritmik büyüme fazındaki promastigotların elde edilmesi amacıyla, kültürün 10. gününde aktif çoğalma gösteren kültürlerden yaklaşık 0.5–1 mL süspansiyon alınarak 5 mL taze RPMI-1640 besiyeri içeren steril kültür flasklarına pasajlanmış ve aynı koşullarda inkübasyona devam edilmiştir. Kültürlerin sürekliliğini sağlamak amacıyla iki günde bir 2–3 mL taze besiyeri ilave edilmiştir. Parazit çoğalması, kültürün 10. ve 20. günleri arasında Thoma sayım kamerası kullanılarak düzenli olarak takip

edilmiş ve kültürlerin 20. gün sonunda yaklaşık 1×10^8 parazit/mL yoğunluğa ulaştığı belirlenmiştir. Antileishmanial aktivite deneylerinde logaritmik büyüme fazındaki promastigotlar kullanılmıştır (Mor vd., 2025).

2.3. *In vitro* antileishmanial aktivitenin belirlenmesi

Test bileşikleri, öncelikle dimetil sülfoksit (DMSO; Sigma-Aldrich, ABD) içerisinde çözündürülerek 200 mM stok çözeltiler hazırlanmıştır. Stok çözeltilerden hareketle test bileşiklerinin 3.125–200 μ M aralığında seri dilüsyonları hazırlanmış, referans ilaç olarak kullanılan miltefosin (Abmole Bioscience, ABD) ise 2–64 μ M konsantrasyon aralığında hazırlanmıştır. Hazırlanan test bileşik çözeltileri ve miltefosin, logaritmik büyüme fazındaki *L. major*, *L. tropica* ve *L. infantum* promastigot süspansiyonlarına steril koşullar altında uygulanmış ve kültürler 27 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından parazit süspansiyonları homojenizasyonun sağlanması amacıyla yaklaşık 5 saniye vortekslenmiş, her örnekten alınan 100 μ L'lik süspansiyon steril 96 kuyucuklu mikrolakalara aktarılmıştır. Hücre canlılığı, her kuyucuğa 10 μ L CVDK-8 Hücre Canlılık Kiti (EcoTech, Türkiye) eklenmesini takiben plakaların 37 °C'de 60 dakika inkübasyonu sonrasında değerlendirilmiştir. Son olarak absorbans değerleri, mikrolaka okuyucusu (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak 450 nm dalga boyunda ölçülmüş ve elde edilen veriler doğrultusunda antileishmanial aktivite değerlendirilmiştir (Mor vd., 2025).

2.4. Sitotoksikite analizi

Test bileşiklerinin sitotoksik etkileri, referans ilaç olarak kullanılan miltefosin ile karşılaştırmalı şekilde, insan umbilikal ven endotel hücreleri (HUVEC; ATCC, ABD) kullanılarak değerlendirilmiştir. HUVEC hücreleri, %10 fetal bovin serum (FBS; Gibco, ABD) ve %1 penisilin-streptomisin (Gibco, ABD) ile desteklenmiş Dulbecco'nun Modifiye Eagle Besiyeri (DMEM) içerisinde, %5 CO₂ içeren nemlendirilmiş inkübatörde 37 °C'de kültüre edilmiştir. Tripsinizasyon işlemi sonrasında hücreler, steril 96 kuyucuklu mikrolakalara kuyucuk başına 4×10^3 hücre olacak şekilde ekilmiş ve yüzeye tutunmalarının sağlanması amacıyla 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından kültür ortamı uzaklaştırılarak yerine test bileşiklerini veya referans ilaç miltefosini içeren taze besiyeri ilave edilmiştir. Bileşikler ve miltefosin, son konsantrasyonları 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 ve 200 μ M olacak şekilde hücrelere uygulanmış ve 24 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır (n = 3). İnkübasyon süresinin sonunda her kuyucuğa 10 μ L Cell Viability Detection Kit-8 (CVDK-8; EcoTech, Türkiye) reaktifi eklenmiş ve plakalar 37 °C'de 60 dakika inkübe edilmiştir. Hücre canlılığına ilişkin absorbans değerleri, mikrolaka okuyucusunda 450 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak hücre canlılık yüzdeleri hesaplanmış, doz-yanıt eğrileri GraphPad Prism 10.6.1 yazılımı ile oluşturularak bileşiklerin IC₅₀ değerleri belirlenmiştir (Mor vd., 2025).

2.5. IC₅₀ hesaplamaları ve istatistiksel analiz

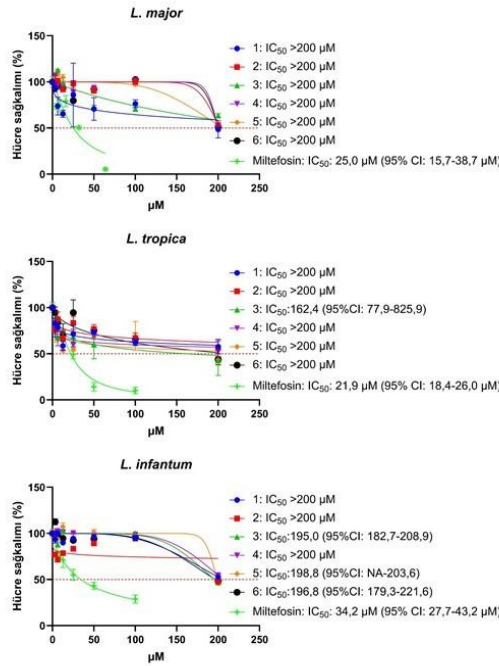
Leishmania promastigotları ve HUVEC hücrelerinden elde edilen absorbans değerleri, kontrol grubunun canlılığı %100 kabul edilerek normalize edilmiş ve sonuçlar yüzde (%) canlılık olarak ifade edilmiştir. Verilerin analizi GraphPad Prism 10.6.1 (GraphPad Software, ABD) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yarı maksimal inhibitör konsantrasyon (IC₅₀) değerleri ile bunlara ait %95 güven aralıkları, değişken eğimli dört parametrelili lojistik (4PL) doz-yanıt modeli kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Doz-yanıt eğrileri GraphPad Prism yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve IC₅₀ değerleri belirlenmiştir. HUVEC hücrelerinde test edilen ticari bileşiklerin sitotoksik etkileri, çalışma kapsamında kullanılan en yüksek konsantrasyon olan 200 μ M'de dahi %50 inhibisyona

ulaşmadığından, IC₅₀ değerleri belirlenememiş ve bu nedenle seçicilik indeksi (SI) hesaplanmamıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. *L. major*, *L. tropica* ve *L. infantum*'a karşı *in vitro* antileishmanial aktivite sonuçları

Bileşiklerin *L. major*, *L. tropica* ve *L. infantum* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri CVDK-8 yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen IC₅₀ değerleri referans ilaç miltefosin ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2).



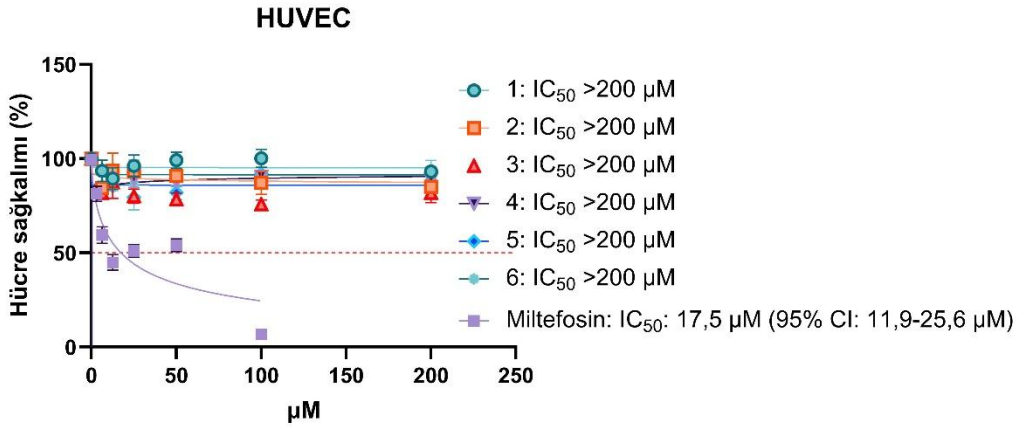
Şekil 2. Aril aminoester türevlerinin ve referans ilaç miltefosinin *Leishmania major*, *Leishmania tropica* ve *Leishmania infantum* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktivitelerine ait doz-yanıt eğrileri. IC₅₀ değerleri doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmış ve %95 güven aralıkları ile birlikte gösterilmiştir.

L. major promastigotları üzerinde test edilen bileşiklerin hiçbirinde 200 µM'nin altında IC₅₀ değeri elde edilememiş, dolayısıyla tüm bileşiklerin bu türe karşı antileishmanial etkinliğinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Referans ilaç miltefosin ise 25,0 µM IC₅₀ değeri ile *L. major* üzerinde belirgin inhibisyon oluşturmuştur. *L. tropica* üzerinde ise yalnızca 3 numaralı bileşik için ölçülebilir bir IC₅₀ değeri (162.4 µM) belirlenirken, diğer tüm bileşiklerin IC₅₀ değerlerinin 200 µM'nin üzerinde olduğu saptanmıştır. Buna karşılık miltefosin aynı türde 21.9 µM IC₅₀ değeri ile test edilen tüm bileşiklerden daha yüksek antileishmanial aktivite göstermiştir. *L. infantum* promastigotlarında ise 3, 5 ve 6 numaralı bileşikler için sırasıyla 195.0, 198.8 ve 196.8 µM IC₅₀ değerleri hesaplanmış, diğer bileşiklerin IC₅₀ değerlerinin ise 200 µM'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu bileşiklerin etkinliği referans ilaç miltefosinin 34.2 µM IC₅₀ değeri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük düzeyde kalmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, test edilen bileşiklerin antileishmanial aktivitelerinin düşük olduğu, yalnızca 3 numaralı bileşiğin *L. tropica* ve 3, 5 ve 6 numaralı bileşiklerin *L. infantum* üzerinde zayıf düzeyde inhibisyon oluşturduğu görülmüştür. Buna karşın, çalışılan konsantrasyon aralığında hiçbir bileşik referans ilaç miltefosinin gösterdiği antileishmanial etkinliğe ulaşamamıştır.

3.2. Sitotoksosite sonuçları

Test edilen bileşiklerin HUVEC hücreleri üzerindeki sitotoksik etkileri değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar referans ilaç miltefosin ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3). Analizler sonucunda, 1–6 numaralı bileşiklerin tamamının HUVEC hücrelerindeki IC₅₀ değerlerinin 200 µM'nin üzerinde olduğu belirlenmiş ve çalışılan konsantrasyon aralığında belirgin bir sitotoksik etki saptanmamıştır. Buna karşılık miltefosin, HUVEC hücreleri üzerinde 17.5 µM IC₅₀ değeri (%95 GA: 11.9–25.6 µM) göstermiştir. Bu bulgular, test edilen ticari bileşiklerin HUVEC hücrelerine karşı miltefosine kıyasla daha düşük sitotoksosite sergilediğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, test edilen bileşiklerin genel olarak referans ilaç miltefosine kıyasla daha düşük antileishmanial aktivite sergilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, bazı bileşiklerin yalnızca belirli *Leishmania* türlerinde ölçülebilir düzeyde aktivite göstermesi, türler arasında antiparaziter ajanlara karşı duyarlılığın farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3. Aril aminoester türevlerinin ve referans ilaç miltefosinin HUVEC hücreleri üzerindeki sitotoksik etkilerine ait doz-yanıt eğrileri. IC₅₀ değerleri doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmış ve %95 güven aralıkları ile birlikte gösterilmiştir. Grafikte kullanılan farklı semboller, her bir ticari bileşiğe ve referans ilaca ait doz-hücre canlılığı veri noktalarını temsil etmekte olup şekil boyunca tutarlı şekilde kullanılmıştır.

Leishmania türleri arasında ilaç duyarlılığındaki farklılıklar literatürde de sıklıkla bildirilmekte olup, türlerin hücre zarı lipid kompozisyonu, yüzey glikokonjugatları, metabolik özellikleri ve ilaç taşımamında görev alan proteinlerin ekspresyon düzeyleri gibi biyolojik farklılıklar, antiparaziter bileşiklerin hücre içine alınımını ve hedef moleküllerle etkileşimini etkileyebilmektedir (Croft vd., 2006; Ponte-Sucre vd., 2017). Bu nedenle, aynı bileşiğin farklı *Leishmania* türlerinde değişen düzeylerde aktivite göstermesi beklenen bir durum olarak değerlendirilmektedir. Çalışmamızda özellikle *L. tropica* ve *L. infantum* üzerinde belirlenen sınırlı aktivite ile *L. major*'da anlamlı bir etkinliğin gözlenmemesi, türler arasındaki biyolojik farklılıkların antileishmanial yanıt üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Sitotoksosite değerlendirmelerinde ise test edilen ticari bileşiklerin tamamının HUVEC hücrelerinde düşük sitotoksik etki göstermesi dikkat çekici bir bulgudur. Referans ilaç miltefosin, güçlü antileishmanial etkinliğinin yanı sıra konak hücreler üzerinde daha belirgin sitotoksosite sergilerken, test edilen bileşiklerin çalışılan konsantrasyon aralığında daha güvenli bir profil ortaya koyduğu görülmüştür. Her ne kadar bu bileşiklerin antileishmanial aktiviteleri istenilen düzeyde olmasa da, düşük sitotoksosite göstermeleri ileride gerçekleştirilecek yapısal modifikasyon çalışmaları açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, bu çalışma test edilen aril aminoester türevlerinin antileishmanial aktivitelerinin türler arasında farklılık gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, test edilen bileşiklerin HUVEC hücreleri üzerinde düşük sitotoksikite sergilemesi, bu moleküllerin güvenlik açısından avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir. Her ne kadar referans ilaç miltefosin düzeyinde bir antileishmanial etkinlik elde edilememiş olsa da, bu bileşikler üzerinde gerçekleştirilecek yapı-aktivite ilişkisi (SAR) ve kimyasal optimizasyon çalışmalarının biyolojik aktivitenin artırılmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, aktivite gösteren bileşiklerin hücre içi amastigot modellerinde ve *in vivo* deneylerde araştırılması, terapötik potansiyellerinin daha kapsamlı biçimde ortaya konulmasına olanak sağlayacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, aril aminoester türevlerinin *L. major*, *L. tropica* ve *L. infantum* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri ile HUVEC hücreleri üzerindeki sitotoksik etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, test edilen bileşiklerin antileishmanial aktivitelerinin *Leishmania* türleri arasında farklılık gösterebildiğini ve genel olarak referans ilaç miltefosine kıyasla daha düşük etkinlik sergilediğini ortaya koymuştur. Buna karşın, bileşiklerin HUVEC hücreleri üzerinde düşük sitotoksikite göstermesi, bu moleküllerin güvenlik açısından avantajlı özellikler taşıyabileceğini ve gelecekte gerçekleştirilecek kimyasal optimizasyon çalışmalarına temel oluşturabilecek potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya sağladıkları bilimsel katkı ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Ahmet ÖZBİLGİN'e, Doç. Dr. Feyzi Sinan TOKALI'ya ve Dr. Barış YILDIZ'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Geto, A. K., Berihun, G., Berhanu, L., Desye, B., & Daba, C. (2024). Prevalence of human visceral leishmaniasis and its risk factors in Eastern Africa: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12, 1488741. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1488741>
- Fotakis, E. A., Papamichail, D., Boutsini, S., Patsoula, E., & Panagiotopoulos, T. (2024). Leishmaniasis in Greece: Prospects of transitioning to a One Health surveillance system. *One Health*, 19, 100896. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100896>
- Abebe, W., Woldesenbet, D., Derso, Y. A., & Feleke, S. F. (2025). Prevalence and associated risk factors of human leishmaniasis in sub-Saharan Africa: An umbrella review. *BMC Infectious Diseases*, 25(1), 1727. <https://doi.org/10.1186/s12879-025-12174-w>
- Mohammed, M. W., Aboagye, Y., Anyanful, A., Kyei, S., & Asare, K. K. (2026). Evidence gaps and global patterns in leishmaniasis control: A scoping review of clinical, diagnostic, and treatment strategies. *Journal of Parasitology Research*, 2026(1), 8882865. <https://doi.org/10.1155/japr/8882865>
- Sánchez, J. P., Cañola, J., Molina, J. P., Bejarano, N. R. R., Vélez-Mira, A., Vélez, I. D., & Robledo, S. M. (2020). Ecoepidemiología de la leishmaniasis visceral en Colombia (1943–2019): revisión sistemática. *Hechos Microbiológicos*, 11(1 y 2), 22–60. <https://doi.org/10.17533/udea.hm.v11n1a03>
- Manathunga, T., Barrs, V., Han, Q., Fang, F., Mendoza-Roldan, J. A., Bezerra-Santos, M. A., ... Otranto, D. (2026). Zoonotic leishmaniasis in China: Current status and challenges to elimination. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 20(5), e0014344. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0014344>
- Pinheiro, A. C., & Souza, M. V. N. D. (2022). Current leishmaniasis drug discovery. *RSC Medicinal Chemistry*, 13(9), 1029–1043. <https://doi.org/10.1039/d1md00362c>

- Sharifi, N., Alitaneh, Z., Asadi, S., Vahidinia, Z., Zarch, S. M. A., Esmaeili, A., ... Mazhari, Y. (2023). Developing nanosize carrier systems for Amphotericin-B: A review on the biomedical application of nanoparticles for the treatment of leishmaniasis and fungal infections. *Biotechnology Journal*, 19(1), e2300462. <https://doi.org/10.1002/biot.202300462>
- Perez, R. L., Chase, J., & Tanner, R. (2024). Shared challenges to the control of complex intracellular neglected pathogens. *Frontiers in Public Health*, 12, 1423420. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1423420>
- Souza, R. M. de, Tuon, F. F., Lindoso, J. Â. L., Viana, J. V. M., Maia, I. A., Sampaio, R. N. R., ... Amato, V. S. (2025). Cutaneous and mucocutaneous leishmaniasis: Perspectives on immunity, virulence, and treatment. *Biomedicines*, 13(12), 3008. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13123008>
- Heindel, N. D., Lemke, T. F., Lemke, S. M., & Fish, V. B. (1968). Bactericidal and fungicidal activity of anthranilate esters. *Journal of Medicinal Chemistry*, 11(2), 369–370. <https://doi.org/10.1021/jm00308a043>
- Prasher, P., & Sharma, M. (2021). Medicinal chemistry of anthranilic acid derivatives: A mini review. *Drug Development Research*, 82(7), 945–958. <https://doi.org/10.1002/ddr.21794>
- Shaaban, S., Yousif, A. M., & Faidallah, H. M. (2022). Organoselenocyanates tethered methyl anthranilate hybrids with promising anticancer, antimicrobial, and antioxidant activities. *Inorganics*, 10(12), 246. <https://doi.org/10.3390/inorganics10120246>
- Mor, B., Tokalı, F. S., Yıldız, B., Şenol, H., Aksu, Ş., & Mor, N. (2025). Design, Synthesis, and Evaluation of Novel Quinazolin-4(3H)-One Derivatives: Anti-Leishmanial Activity, Selectivity, and Molecular Docking Insights. *J. Biochem. Mol. Toxicol.* 39(6), e70309. <https://doi.org/10.1002/jbt.70309>
- Croft, S. L., Sundar, S., & Fairlamb, A. H. (2006). Drug resistance in leishmaniasis. *Clinical Microbiology Reviews*, 19(1), 111–126. <https://doi.org/10.1128/CMR.19.1.111-126.2006>
- Ponte-Sucre, A., Gamarro, F., Dujardin, J. C., Barrett, M. P., López-Vélez, R., García-Hernández, R., ... Pountain, A. W. (2017). Drug resistance and treatment failure in leishmaniasis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 11(12), e0006052. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006052>

GÖMÜLÜ KANIN VARLIĞINDA CERRAHİ KORKUSU OLAN HASTANIN DİJİTAL İŞ AKIŞI, CUTBACK ZİRKONYUM VE ESTETİK İLLÜZYON PRENSİPLERİ İLE REHABİLİTASYONU: OLGU SUNUMU

Uzm. Dt. Sedef KURT

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
ORCID ID: 0009-0004-7454-5369

ÖZET

Amaç: Anterior bölgede kök içi (internal) rezorpsiyona bağlı diş kayıpları ve gömülü diş varlığı, estetik ve fonksiyonel açıdan karmaşık klinik tablolar oluşturur. Hastaların şiddetli cerrahi anksiyete ve korku nedeniyle implant veya gömülü diş çekimi gibi invaziv tedavileri reddettiği durumlarda, cerrahisiz protetik alternatifler önem kazanmaktadır. Bu olgu sunumunun amacı; internal rezorpsiyon nedeniyle 12 numaralı diş çekilen ve gömülü 13 numaralı dişin cerrahisinden korkan bir hastanın; 3Shape TRIOS 5 dijital ölçü, cutback zirkonyum restorasyon, rezin simantasyon ve estetik illüzyon prensipleri kullanılarak 11 ve 14 numaralı dişler destekli sabit restorasyon ile rehabilitasyonunu sunmaktır.

Olgu Sunumu: Şiddetli cerrahi korkusu bulunan erişkin hastanın klinik ve radyografik değerlendirmesinde; 12 numaralı dişin internal rezorpsiyon nedeniyle kaybedildiği ve 13 numaralı dişin çene kemiği içerisinde asemptomatik olarak gömülü kaldığı tespit edilmiştir. Cerrahi müdahale gerektiren tüm tedavi planlarını reddeden hastanın 11 ve 14 numaralı dişleri arasında yaklaşık 1.5 diş genişliğinde bir eksiklik alanı saptanmıştır. Destek dişlerin preparasyonunun ardından **3Shape TRIOS 5** ağız içi tarayıcı ile dijital ölçü alınmıştır. CAD/CAM ile üretilen zirkonyum altyapı üzerine anterior bölgede doğal translüsentlik sağlamak amacıyla micro-cutback (geri kesim) yapılmış ve estetik porselen tabakalanmıştır. Gövde bölgesine estetik illüzyon teknikleri uygulanarak 12 ve 13 numaralı diş formları işlenmiş ve restorasyon **rezin siman** ile simante edilmiştir.

Sonuç: Gömülü diş varlığında cerrahi müdahaleyi reddeden hastalarda; 3Shape TRIOS 5 ile sağlanan dijital iş akışı, cutback zirkonyum materyal seçimi, rezin simantasyon ve estetik illüzyon tekniklerinin kombinasyonu, cerrahiye ihtiyaç duyulmadan estetik ve fonksiyonel beklentileri en üst düzeyde karşılayan başarılı ve güvenilir bir tedavi alternatifidir.

Anahtar Kelimeler: Internal rezorpsiyon, Gömülü kanin, Sabit protez, Dijital iş akışı, 3Shape TRIOS 5, Cutback zirkonyum, Resin siman, Estetik illüzyon, Cerrahi korkusu.

AESTHETIC REHABILITATION OF A PATIENT WITH SURGICAL PHOBIA AND IMPACTED CANINE USING DIGITAL WORKFLOW, CUTBACK ZIRCONIA, AND AESTHETIC ILLUSION PRINCIPLES: A CASE REPORT

ABSTRACT

Objective: Anterior tooth loss secondary to internal root resorption combined with impacted teeth presents complex aesthetic and functional challenges. When patients decline surgical interventions such as implant placement and impacted tooth extraction due to severe dental anxiety, conservative non-surgical prosthetic alternatives become essential. This case report describes the aesthetic management of a patient whose tooth #12 was extracted due to internal

resorption and who refused surgical removal of an impacted #13, utilizing a 3Shape TRIOS 5 digital workflow, cutback zirconia fixed partial denture (FDP), resin cementation, and aesthetic illusion principles.

Case Description: Clinical and radiographic examination of a adult male patient revealed severe internal resorption leading to the loss of tooth #12, alongside an asymptomatic impacted tooth #13. The patient strongly declined surgical implant placement and canine exposure due to dental phobia. An edentulous span of approximately 1.5 tooth widths was present between teeth #11 and #14. Teeth #11 and #14 were prepared as bridge abutments. Digital impressions were captured using a 3Shape TRIOS 5 intraoral scanner. A 4-unit FDP with a zirconia framework featuring a micro-cutback design for aesthetic porcelain layering was fabricated. Anatomical contours for both teeth #12 and #13 were incorporated into the pontic space using aesthetic illusion techniques. The restoration was luted with resin cement.

Conclusion: In patients with impacted teeth who decline surgery, a fully digital workflow with 3Shape TRIOS 5, cutback zirconia restorations, resin bonding, and aesthetic illusion techniques offers a highly predictable, tissue-conserving, non-surgical treatment modality.

Keywords: Internal resorption, Impacted canine, Fixed partial denture, Digital workflow, 3Shape TRIOS 5, Cutback zirconia, Resin cement, Aesthetic illusion, Surgical phobia.

1.Introduction

Anterior tooth loss directly impairs speech, mastication, and facial aesthetics, often leading to a significant decline in patient self-esteem. Internal root resorption is a pathosis that frequently progresses asymptotically; however, delayed diagnosis often results in extensive destruction of supporting tissues, severe tooth mobility, and ultimate tooth loss. Meanwhile, maxillary canines represent the second most frequently impacted teeth after third molars.

In cases involving anterior tooth loss and impacted teeth, the ideal treatment strategy typically comprises surgical exposure or extraction of the impacted tooth followed by dental implant placement. Nevertheless, severe dental anxiety and surgical phobia can lead patients to reject invasive surgical procedures. In such clinical scenarios, clinicians must pivot toward non-surgical prosthetic alternatives, utilizing advanced digital dentistry, modern ceramic materials, and visual principles of aesthetic illusion within existing anatomical constraints.

Today, next-generation intraoral scanners (IOS) like the 3Shape TRIOS 5 enhance patient comfort by eliminating gag reflexes and traditional impression distortions while providing high marginal accuracy. Furthermore, combining a high-strength zirconia framework with the cutback technique allows for localized porcelain layering, thereby achieving natural optical translucency in the anterior region. Furthermore, adhesive resin cementation ensures superior bond durability and marginal sealing over time.

This case report presents the 4-unit fixed partial denture rehabilitation of a patient who lost tooth #12 due to internal root resorption and declined surgical intervention for an impacted tooth #13, using a 3Shape TRIOS 5 digital workflow, cutback zirconia restoration, resin cementation, and aesthetic illusion techniques.

2.Case Report

2.1.Anamnesis and Clinical/Radiographic Examination

A systemically healthy adult patient presented to our clinic expressing chief complaints regarding anterior tooth loss and compromised smile aesthetics. The medical/dental history revealed recent extraction of tooth #12 due to severe mobility and pain.

Clinical and radiographic evaluations (panoramic radiography and CBCT) confirmed:

- Extraction of tooth #12 secondary to extensive internal root resorption and loss of periodontal support.
- An asymptomatic impacted tooth #13 embedded within the maxillary bone without surrounding cystic or pathological changes.
- An edentulous space spanning approximately 1.5 tooth widths between teeth #11 (maxillary right central incisor) and #14 (maxillary right first premolar).

2.2.Treatment Planning and Digital Workflow

Surgical removal of impacted tooth #13 followed by implant placement at sites #12 and #13 was proposed as the primary treatment plan. However, the patient adamantly declined any surgical intervention due to severe surgical phobia.

Consequently, a non-surgical Fixed Partial Denture (FDP) treatment plan was formulated. Teeth #11 and #14 were selected as bridge abutments. Due to the limited mesiodistal space, aesthetic illusion principles were planned for the pontic region to incorporate the anatomical forms of both teeth #12 and #13 into the available span.

2.3.Clinical Execution

1. **Tooth Preparation:** Teeth #11 and #14 were prepared with radial chamfer finish lines suitable for all-ceramic/zirconia restorations.
2. **Digital Impression (3Shape TRIOS 5):** High-precision digital impressions of the prepared teeth, opposing arch, and bite registration were obtained rapidly using the 3Shape TRIOS 5 intraoral scanner. Datasets were transmitted directly to the CAD/CAM laboratory. A provisional FDP was cemented to maintain aesthetics and function.
3. **Laboratory Phase and Cutback Technique:** A CAD/CAM-milled zirconia framework was subjected to a micro-cutback on the labial and incisal aspects. Aesthetic veneering porcelain was layered in these cutback areas to mimic natural incisal translucency and depth. Aesthetic illusion features—including vertical developmental grooves, line angles, and deep interproximal embrasures—were created in the pontic region to project the visual appearance of two distinct teeth (#12 and #13) standing side-by-side.
4. **Try-in and Cementation:** Intraoral try-in confirmed proper marginal fit, vertical dimension, and visual illusion. Following intaglio surface treatment (air-abrasion and zirconia primer application), the restoration was adhesively bonded to the conditioned abutment teeth using a resin cement.

3.Discussion

When treating patients with high surgical anxiety, the clinician's role is to respect the patient's psychological boundaries and deliver an effective, non-invasive, functional, and aesthetic alternative. When impacted canines remain asymptomatic and free of pathology, monitoring the tooth and restoring the edentulous space prosthetically is a recognized treatment approach in the literature. The primary prosthetic challenges in this case were fitting two distinct anatomical tooth forms into a constrained mesiodistal space via aesthetic illusion and ensuring long-term biomechanical stability. Cutback zirconia restorations effectively balance the high flexural strength of a solid zirconia core (900–1200 MPa) with the superior optical properties and natural translucency of layered porcelain at the incisal edge.

The optical scanning precision of the 3Shape TRIOS 5 scanner successfully eliminated patient discomfort and physical impression distortions. Furthermore, the use of resin cement provided enhanced bond strength, microleakage resistance, and superior structural retention compared to traditional luting cements.

4. Conclusion

In patients presenting with impacted teeth who decline surgical intervention due to dental phobia, combining a 3Shape TRIOS 5 digital workflow, cutback zirconia restorations, resin cementation, and aesthetic illusion techniques provides a highly successful, tissue-preserving, non-surgical alternative that meets aesthetic and functional expectations.

References

1. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):149.
2. Beddis HP, Durey K, Alani A, Chan MF. The clinical management of impacted maxillary canines. *Br Dent J*. 2014;217(8):395-400.
3. Tabatabaian F. Zirconia-based dental restorations: a literature review. *J Prosthodont*. 2015;24(2):128-138.
4. Fradeani M. *Esthetic Rehabilitation in Fixed Prosthodontics: Esthetic Analysis*. Chicago: Quintessence Publishing; 2004.

MAXILLER ANTERIOR BÖLGEDEKİ HIPOMINERALIZE SANTRAL DIŞIN VE DIASTEMALARIN DİJİTAL İŞ AKIŞI VE LAMINA VENEER RESTORASYONLAR İLE ESTETİK REHABİLİTASYONU: OLGU SUNUMU

Uzm. Dt. Sedef KURT

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
ORCID ID: 0009-0004-7454-5369

ÖZET

Amaç: Maxiller anterior bölgedeki mine hipomineralizasyonları ve diastemalar, hastaların gülüş estetiğini ve psikososyal yaşam kalitesini olumsuz etkileyen gelişimsel ve anatomik problemlerdir. Minimal invaziv diş hekimliği prensipleri doğrultusunda uygulanan porselen lamina veneerler; maksimum sağlıklı diş dokusu koruması, üstün optik özellikler ve periodontal biyouyumluluk sunar. Günümüzde 3Shape TRIOS 5 gibi yeni nesil ağız içi tarayıcılar, hasta konforunu artırarak tam dijital iş akışı olanağı sağlamaktadır. Bu olgu sunumunun amacı; 21 numaralı dişte belirgin hipomineralizasyon ve 13-23 dişleri arasında diastemaları bulunan 26 yaşındaki erkek hastanın, 3Shape TRIOS 5 ile sağlanan dijital iş akışı ve lamina veneerler ile estetik rehabilitasyonunu sunmaktır.

Vaka Sunumu: Estetik memnuniyetsizlik şikayetiyle kliniğimize başvuran 26 yaşındaki sistemik sağlıklı erkek hastanın klinik muayenesinde; 21 numaralı dişte belirgin opak beyaz hipomineralize alan ve 13-23 dişleri arasında (kanin-kanin arası) yaygın küçük diastemalar tespit edilmiştir. Dijital Gülüş Tasarımı (DSD) ve mock-up değerlendirmesinin ardından minimal basamaklı preparasyon (0.3–0.5 mm) uygulanmıştır. Ölçü işlemi **3Shape TRIOS 5** ağız içi tarayıcı ile dijital olarak gerçekleştirilmiş ve CAD/CAM sistemine aktarılmıştır. Lityum disilikat (e.max CAD) bloklardan üretilen 6 üye (13-23) lamina veneer restorasyonlar, adeziv rezin siman ile simante edilmiştir. Bitim sonrasında hastanın estetik beklentilerinin tam olarak karşılandığı ve doku uyumunun sağlandığı gözlenmiştir.

Sonuç: Anterior bölgede tek diş hipomineralizasyonu ve küçük diastemaların bir arada görüldüğü olgularda; 3Shape TRIOS 5 ile yürütülen dijital iş akışı ve 13-23 kanin-kanin arası adeziv seramik lamina veneer uygulamaları, biyolojik doku kaybını minimumda tutarak yüksek hasta memnuniyeti ve estetik başarı sağlayan güvenilir bir tedavi seçeneğidir.

Anahtar Kelimeler: Lamina veneer, Hipomineralizasyon, Diastema, Dijital iş akışı, 3Shape TRIOS 5, Estetik diş hekimliği.

AESTHETIC REHABILITATION OF ANTERIOR TEETH WITH HYPOMINERALIZED CENTRAL INCISOR AND SMALL DIASTEMAS USING DIGITAL WORKFLOW AND LAMINA VENEERS: A CASE REPORT

ABSTRACT

Aim: Anterior enamel hypomineralization and diastemas significantly impair smile aesthetics and psychosocial well-being. Minimal preparation ceramic laminate veneers combined with digital intraoral scanning provide a conservative, highly predictable aesthetic solution. With advances in digital dentistry, new-generation intraoral scanners such as 3Shape TRIOS 5 enhance patient comfort and provide precise digital impressions. This case report aims to present the aesthetic management of a 26-year-old male patient presenting with a distinct hypomineralized lesion on

tooth #21 and small diastemas between teeth #13 and #23, utilizing a 3Shape TRIOS 5 digital workflow and CAD/CAM lithium disilicate laminate veneers.

Case Description: A 26-year-old systemically healthy male presented with chief complaints of localized tooth discoloration and interdental spacing. Intraoral examination revealed a pronounced opaque white hypomineralized area on tooth #21 and small, symmetrically distributed diastemas spanning teeth #13 to #23. Following Digital Smile Design (DSD) and diagnostic mock-up evaluation, minimal depth-guided preparations (0.3–0.5 mm) were executed within enamel. Final impressions were captured using a **3Shape TRIOS 5** intraoral scanner. Six unit (#13–#23) lithium disilicate (e.max CAD) laminate veneers were fabricated and adhesively luted with light-cured resin cement. Post-treatment evaluation demonstrated complete patient satisfaction and optimal periodontal tissue integration.

Conclusion: In anterior aesthetic cases involving localized central incisor hypomineralization and multiple diastemas, a fully digital workflow with 3Shape TRIOS 5 and canine-to-canine (#13–#23) ceramic laminate veneers offers a tissue-conserving, patient-friendly, and aesthetically superior treatment modality.

Keywords: Lamina veneers, Hypomineralization, Diastema, Digital workflow, 3Shape TRIOS 5, Aesthetic dentistry.

1.Introduction

Anterior tooth discoloration, morphological anomalies, and spacing negatively impact patients' smile aesthetics and self-confidence. Enamel hypomineralization is a developmental defect characterized by opaque white, yellow, or brown opacities resulting from incomplete calcification during enamel maturation. Diastemas, on the other hand, stem from tooth-size/arch-length discrepancies or periodontal conditions. Conventional full-coverage crowns necessitate substantial removal of healthy dental structure. In alignment with minimally invasive dentistry principles, ceramic laminate veneers represent the gold standard for anterior aesthetic restorations due to maximum tissue preservation, excelente periodontal biocompatibility, high wear resistance, and superior optical properties.

With advances in digital dentistry, new-generation intraoral scanners such as the 3Shape TRIOS 5 offer enhanced patient comfort, eliminate gag reflexes and material distortion, and ensure precise marginal adaptation through seamless integration with CAD/CAM technology. This case report illustrates the aesthetic management of a 26-year-old male patient with tooth 21 hypomineralization and multiple small anterior diastemas using a 3Shape TRIOS 5 digital workflow and CAD/CAM porcelain laminate veneers.

Case Report

Anamnesis and Clinical Examination

A 26-year-old systemically healthy male patient presented to our clinic complaining of aesthetic dissatisfaction caused by an unsightly white spot on his front tooth and small gaps between his upper teeth. Clinical examination demonstrated:

- A distinct opaque white hypomineralized lesion covering the cervical and middle thirds of the labial surface of tooth 21 (maxillary left central incisor),
- Symmetrical, small (micro) diastemas distributed across teeth 13 to 23 (canine-to-canine),
- Adequate enamel depth and healthy periodontal status.

Treatment Planning and Digital Workflow

1. **Digital Scanning and DSD:** At the initial visit, digital impressions (3D digital models) of both arches and bite registration were obtained using the **3Shape TRIOS 5** intraoral scanner. Digital Smile Design (DSD) was performed on the acquired 3D datasets.
2. **Mock-up Assessment:** Enlarging only the central incisors to close the small diastemas would violate the Golden Proportion, resulting in unnaturally wide teeth. Therefore, restorations were planned across six teeth (13 to 23) to distribute the spaces evenly. A diagnostic mock-up derived from the digital design was evaluated intraorally, achieving the patient's full approval.

Clinical Execution

1. **Preparation:** Minimal depth-guided preparation was executed over the mock-up. A chamfer margin of 0.3–0.5 mm was prepared on the labial surfaces, remaining strictly within enamel. The superficial portion of the hypomineralized defect on tooth 21 was selectively removed.
2. **Final Digital Impression:** Following gingival displacement with retraction cords, a high-resolution final digital impression was captured using the **3Shape TRIOS 5** scanner and transferred directly to the CAD/CAM laboratory.
3. **Laboratory and Cementation:** Lithium disilicate (e.max CAD) laminate veneers were milled. Marginal fit, interproximal contact points, and shade masking were verified during intraoral try-in. Adhesive luting was completed as follows:
 - Etching ceramic fitting surfaces with 9.5% hydrofluoric acid (20 s) followed by silane coupling agent application (60 s).
 - Etching enamel surfaces with 37% phosphoric acid (15 s) followed by adhesive resin application.
 - Luting with light-cured resin cement of appropriate shade.

Discussion

*Achieving success in anterior aesthetic restorations relies on accurate diagnosis, conservation of sound dental tissue, and accurate digital integration. Because hypomineralized enamel can compromise bond strength, selective removal of the defective superficial tissue on tooth #21 and placing restoration margins on sound enamel were critical to ensuring long-term bond durability. Distributing small diastemas across six teeth (13 to 23) preserved the ideal width-to-length ratio (75%–80%) and natural arch symmetry. The physical discomfort, nausea, and dimensional instability associated with conventional impression materials were eliminated by the optical precision of the **3Shape TRIOS 5** scanner. CAD/CAM-fabricated lithium disilicate veneers delivered high mechanical strength (400 MPa) and excellent aesthetic integration with effective mask-out of the underlying defect.*

Conclusion

*In anterior aesthetic management involving localized central incisor hypomineralization and multiple small diastemas, a fully digital workflow utilizing the **3Shape TRIOS 5** combined with canine-to-canine (13–23) ceramic laminate veneers provides a conservative, comfortable, and aesthetically successful treatment option for young male patients.*

References

1. Coachman C, Paravina RD, Goldstein RE. Digital Smile Design: A tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry. *Quintessence Int.* 2017;48(8):643-652.
2. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):149.
3. Layton DM, Clarke RM. A systematic review and meta-analysis of the survival of feldspathic porcelain and glass ceramic laminate veneers. *Int J Prosthodont.* 2013;26(3):257-266.
4. Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Porcelain veneers: a review of the literature. *J Dent.* 2000;28(3)

TASARIM ÖĞRENCİLERİNDE ÜST SIRT KAS-İSKELET SİSTEMİ SEMPATOMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ: LOJİSTİK REGRESYON VE RASTGELE ORMAN MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Öğr. Gör. Dr. Seçil KULAÇ

Bursa Technical University, Quality Coordination Office, 16000, Bursa, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-3432-0099

ÖZET

Bu çalışmada, tasarım öğrencilerinde üst sırt kas-iskelet sistemi semptom durumunun demografik, akademik ve oturma ile ilişkili özellikler kullanılarak sınıflandırılması değerlendirilmiştir. Toplam 416 tasarım öğrencisinden elde edilen veriler Lojistik Regresyon (LR) ve Rastgele Orman (RF) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Veri seti, tabakalı örnekleme yöntemiyle eğitim ($n = 332$) ve test ($n = 84$) setlerine ayrılmıştır. Modellerin performansı ve kararlılığı, 10 tekrarlı tabakalı 5 katlı çapraz doğrulama kullanılarak değerlendirilmiş ve ardından ayrılmış test seti üzerinde test edilmiştir. Model performansı doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik, F1-skoru, alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan (ROC-AUC) ve Brier skoru kullanılarak değerlendirilmiştir. RF modelinin yorumlanmasında permütasyon önemi ve SHapley Additive exPlanations (SHAP) yöntemleri kullanılmıştır. Tekrarlı çapraz doğrulama sonuçları, LR ve RF modellerinin benzer ayırt etme performansı gösterdiğini ve ortalama ROC-AUC değerlerinin sırasıyla $0,548 \pm 0,072$ ve $0,542 \pm 0,065$ olduğunu ortaya koymuştur. Test setinde RF, LR'ye göre daha yüksek ROC-AUC değerine ($0,606$ 'ya karşı $0,569$) ulaşırken; LR daha yüksek doğruluk ($0,560$ 'a karşı $0,512$), duyarlılık ($0,600$ 'e karşı $0,475$), kesinlik ($0,533$ 'e karşı $0,487$) ve F1-skoru ($0,565$ 'e karşı $0,481$) elde etmiştir. Test ROC-AUC değerlerine ait %95 güven aralıklarının geniş ve birbiriyle örtüşmesi, tahmin edilen ayırt etme performansındaki belirsizliğe işaret etmektedir. Permütasyon önemi analizi, mevcut öğrenim yılı, beden kütle indeksi (BKİ), yaş ve bölüm uzmanlık alanını RF performansına en fazla katkı sağlayan değişkenler olarak belirlemiştir. SHAP analizi ayrıca barınma türü, cinsiyet, sandalye kullanım süresi ve derslerle ilişkili oturma özelliklerinin model tahminlerine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Genel olarak bulgular, tasarım öğrencilerinde üst sırt kas-iskelet sistemi semptomlarının incelenmesinde tahmine dayalı modelleme ve model yorumlama yaklaşımlarının uygulanabilirliğini ortaya koymakta ve demografik, akademik ve oturma ile ilişkili özelliklerin model tahminlerine katkısına ilişkin bilgi sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Üst sırt kas-iskelet sistemi semptomları; Makine öğrenmesi; Rastgele Orman; SHAP; Ergonomi

MACHINE LEARNING-BASED PREDICTION OF UPPER-BACK MUSCULOSKELETAL SYMPTOMS AMONG DESIGN STUDENTS: A COMPARISON OF LOGISTIC REGRESSION AND RANDOM FOREST

ABSTRACT

This study evaluated the classification of upper-back musculoskeletal symptom status among design students using demographic, academic, and sitting-related characteristics. Data from 416 design students were analyzed using Logistic Regression (LR) and Random Forest (RF). The dataset was divided into training ($n = 332$) and held-out test set ($n = 84$) sets using stratified sampling. Model performance and stability were assessed using repeated stratified 5-fold cross-

validation with 10 repetitions, followed by evaluation on the held-out test set. Performance was evaluated using accuracy, sensitivity, specificity, precision, F1-score, receiver operating characteristic area under the curve (ROC-AUC), and Brier score. Permutation importance and SHapley Additive exPlanations (SHAP) were used to interpret the RF model. Repeated cross-validation indicated comparable discriminatory performance for LR and RF, with mean ROC-AUC values of 0.548 ± 0.072 and 0.542 ± 0.065 , respectively. On the held-out test set, RF achieved a higher ROC-AUC than LR (0.606 vs. 0.569), whereas LR yielded higher accuracy (0.560 vs. 0.512), sensitivity (0.600 vs. 0.475), precision (0.533 vs. 0.487), and F1-score (0.565 vs. 0.481). The 95% confidence intervals for test ROC-AUC were wide and overlapping, indicating uncertainty in the estimated discriminatory performance. Permutation importance identified current year of study, BMI, age, and degree specialization as the leading contributors to RF performance. SHAP analysis further indicated contributions from accommodation type, gender, chair-use duration, and class-related sitting characteristics. Overall, the findings illustrate the application of predictive modelling and model interpretation to upper-back musculoskeletal symptoms among design students, while providing insight into the contribution of demographic, academic, and sitting-related characteristics to model predictions.

Keywords: Upper-back musculoskeletal symptoms; Machine learning; Random Forest; SHAP; Ergonomics

1. INTRODUCTION

Musculoskeletal symptoms constitute an important health concern across both occupational and educational settings, with potential consequences for physical functioning, quality of life, and participation in work and academic activities. Although musculoskeletal health research has traditionally concentrated on occupational populations, increasing attention has been directed towards university students, who may also experience substantial exposure to prolonged sitting, sustained or constrained postures, extensive computer and digital-device use, and inadequate workstation ergonomics. Recent evidence indicates that musculoskeletal complaints are common among university students and are associated with a range of individual, behavioural, and study-related characteristics (Parto et al., 2023; Kandasamy et al., 2024). Evidence from university students in India has similarly shown a high prevalence of classroom-related musculoskeletal complaints associated with prolonged use of inadequately designed furniture (Taifa, 2022). These concerns are particularly relevant in design-oriented disciplines, where students may spend prolonged periods in studio, computer-based, and model-making activities that require sustained or awkward postures. Recent studies among architecture students have documented a substantial burden of musculoskeletal pain, including symptoms affecting the upper back, further highlighting the ergonomic demands associated with design-related education (Algabbani, 2024; Shaheen & Algabbani, 2026).

Musculoskeletal symptoms are multifactorial and can reflect the combined influence of individual, physical, ergonomic, behavioural, and contextual characteristics. Age, sex, body mass index (BMI), working or studying duration, sustained posture, and characteristics of the physical environment have been examined as potential contributing factors in different populations (Sasikumar & Binoosh, 2020; Luo et al., 2024; Sallehuddin et al., 2026). Within educational settings, prolonged sedentary behaviour, extended computer use, and inadequate workstation ergonomics can increase exposure to conditions associated with musculoskeletal symptoms (Janc et al., 2023). Upper-back symptoms are particularly relevant in this context because prolonged seated activities may involve sustained trunk and shoulder positioning. Nevertheless, compared with frequently investigated outcomes such as neck and lower-back

complaints, upper-back musculoskeletal symptoms have received relatively limited attention as a distinct predictive outcome, particularly among design students.

Questionnaire-based approaches remain widely used for the epidemiological assessment of musculoskeletal symptoms. Among these instruments, the Standardised Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ) provides a well-established framework for assessing symptoms across nine anatomical regions, including the neck, shoulders, upper back, lower back, elbows, wrists/hands, hips/thighs, knees, and ankles/feet (Kuorinka et al., 1987). More recently, Srivastava (2025) developed the Pain points: A survey dataset on Musculoskeletal symptoms among Design students in India, comprising undergraduate and postgraduate design students from institutions in India. The dataset includes demographic and academic characteristics together with information on sitting and chair use and NMQ-based musculoskeletal symptoms. It therefore provides an opportunity to examine whether routinely collected student characteristics contain sufficient information to distinguish individuals reporting musculoskeletal symptoms from those without such symptoms.

Previous investigations of musculoskeletal disorders have predominantly relied on conventional statistical approaches, particularly logistic regression, to identify associations between potential explanatory variables and musculoskeletal outcomes. Logistic regression remains valuable because of its relative simplicity and interpretability; however, its conventional specification may be insufficient when relationships involve complex nonlinear patterns or interactions among multiple predictors. Machine learning (ML) provides a complementary analytical framework in which such relationships can be learned directly from multidimensional data. Accordingly, the application of ML to musculoskeletal health and ergonomic assessment has expanded in recent years. A recent systematic review by Sallehuddin et al. (2026) identified Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), and Artificial Neural Network (ANN) models among the most frequently employed approaches in studies investigating work-related musculoskeletal disorders. The review further demonstrated that ML models can provide useful discrimination across heterogeneous occupational populations, while also emphasizing methodological concerns related to overfitting, limited external validation, and variability in reporting practices.

Several empirical studies illustrate this progression towards data-driven musculoskeletal risk assessment. Sasikumar and Binoosh (2020) developed predictive models for musculoskeletal disorder risk among computer professionals using postural, physiological, and work-related attributes. Among the evaluated algorithms, RF and Naïve Bayes achieved the highest classification accuracy, indicating that combinations of individual and work-related information can contribute to musculoskeletal risk classification. More recently, Luo et al. (2024) developed multiple ML models for neck and shoulder musculoskeletal disorders among healthcare professionals. Their framework combined feature selection with several predictive algorithms and incorporated SHapley Additive exPlanations (SHAP) to provide individual-level interpretations of model predictions. Similarly, Li et al. (2026) investigated musculoskeletal disorders among coal miners using both conventional statistical analysis and ML. Their findings demonstrated that personal and work-related characteristics contributed to model predictions and that ensemble-based approaches offered potential for musculoskeletal risk stratification.

Other recent studies have extended ML-based musculoskeletal assessment through alternative modelling strategies. Fouad et al. (2025), for example, combined neural networks with Particle Swarm Optimization to classify musculoskeletal pain using demographic, professional,

physical, and lifestyle information, identifying variables such as age and BMI among the influential model features. Silva et al. (2026) integrated Item Response Theory with several ML algorithms to classify musculoskeletal discomfort and subsequently employed SHAP to identify the symptoms contributing most strongly to model outputs. Collectively, these studies demonstrate the increasing methodological diversity of ML applications in musculoskeletal and ergonomic research. However, the existing evidence is concentrated primarily on occupational populations such as healthcare personnel, computer professionals, miners, and industrial workers. Explainable ML applications focusing specifically on student populations, and particularly design students, remain comparatively limited.

The increasing use of complex ML algorithms also raises an important issue concerning model interpretability. A model with acceptable predictive performance does not necessarily provide an adequate understanding of how individual variables contribute to its predictions. This consideration is particularly important in health and ergonomics research, where the interpretation of model behaviour can be as relevant as classification performance. Model-agnostic approaches such as permutation importance can quantify the extent to which individual predictors contribute to out-of-sample predictive performance, while SHAP provides complementary information on the magnitude and direction of feature contributions to individual predictions (Lundberg & Lee, 2017). Recent musculoskeletal studies have therefore incorporated explainability techniques to improve transparency and provide greater insight into the variables driving ML predictions (Luo et al., 2024; Silva et al., 2026).

Equally important is the need for rigorous model validation. High performance on training data can provide an overly optimistic representation of predictive capability, particularly when flexible algorithms are applied to relatively small datasets. Sallehhudin et al. (2026) identified the absence of external validation in several published ML studies of musculoskeletal disorders as an important limitation and highlighted the associated risk of overfitting. Consequently, assessment on data not used during model development, together with cross-validation and appropriate measures of discrimination and probabilistic performance, is necessary to obtain a more realistic estimate of model generalizability (Steyerberg et al., 2010). Moreover, when cross-sectional questionnaire data are used, predictive results should be interpreted as discrimination between participants with different observed symptom statuses rather than as evidence of future disease occurrence or causal relationships.

The present study examines the prediction of upper-back musculoskeletal symptoms among design students using demographic, academic, and sitting-related characteristics. Logistic Regression (LR) and Random Forest (RF) were selected to provide a comparison between a conventional, relatively interpretable baseline approach and a nonlinear ensemble-learning method capable of representing more complex relationships among predictors. Model stability was assessed using repeated stratified cross-validation, followed by evaluation on a held-out test set using accuracy, sensitivity, specificity, precision, F1-score, receiver operating characteristic area under the curve (ROC-AUC), and probabilistic performance using the Brier score. In addition, permutation importance and SHAP analysis were applied to the RF model to examine the relative contribution of the included predictors. Through this combined predictive and explainability framework, the study seeks to determine the extent to which readily available demographic, academic, and sitting-related information can discriminate upper-back symptom status among design students and to identify the characteristics that contribute most strongly to the resulting model predictions.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data Source and Outcome Definition

This study utilized a publicly available dataset on musculoskeletal symptoms among design students (Srivastava, 2025). Musculoskeletal symptoms were assessed using the Standardised Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ) (Kuorinka et al., 1987).

Following the removal of three duplicate records, 416 unique participants were retained for analysis. The presence of upper-back musculoskeletal symptoms during the preceding 12 months was defined as the outcome variable and coded as 0 (No) and 1 (Yes).

Eleven predictors were included based on the information available in the dataset: age, body mass index (BMI), gender, degree pursued, degree specialization, current year of study, college/institute type, accommodation type, duration of chair use, weekly class hours, and weekly seated class hours.

2.2. Data Preprocessing

The dataset was partitioned into training (80%, $n = 332$) and held-out test set (20%, $n = 84$) sets using stratified sampling to maintain the distribution of the outcome variable across both subsets.

For numerical variables, missing values were imputed using the median and the resulting variables were standardized. Missing values in categorical variables were imputed using the most frequent category, followed by one-hot encoding. All preprocessing procedures were incorporated into the machine-learning pipeline to ensure that parameter estimation and data transformations were performed using the training data only, thereby preventing information leakage during model development and validation.

2.3. Machine Learning Models

Two classification approaches were evaluated: Logistic Regression (LR) and Random Forest (RF). LR was used as a conventional baseline model, whereas RF was included to accommodate potential nonlinear relationships and interactions among predictors (Breiman, 2001). Machine-learning approaches have also been applied to the prediction and classification of musculoskeletal outcomes in previous studies (Luo et al., 2024; Li et al., 2026).

RF hyperparameters were optimized using GridSearchCV applied exclusively to the training set, with stratified 5-fold cross-validation and ROC-AUC as the optimization criterion. The number of trees was fixed at 500. The search space included maximum tree depth (3, 5, 7, and 10), minimum samples per leaf (2, 4, and 8), minimum samples required for node splitting (5, 10, and 20), and the number of features considered at each split (sqrt and 0.5), resulting in 72 candidate configurations. The selected RF configuration had a maximum depth of 5, a minimum of 2 samples per leaf, a minimum of 10 samples required for node splitting, and sqrt as the maximum-feature setting. The held-out test set was not used during model fitting or hyperparameter selection.

2.4. Model Validation and Performance Evaluation

Model performance and stability were evaluated using repeated stratified 5-fold cross-validation with 10 repetitions on the training set. Following model development, the held-out test set was used for final performance assessment.

Classification performance was evaluated using accuracy, sensitivity, specificity, precision, F1-score, and the area under the receiver operating characteristic curve (ROC-AUC). Confusion matrices and receiver operating characteristic (ROC) curves were used to further examine differences in classification performance between LR and RF. Probabilistic performance was assessed using the Brier score, which quantifies the agreement between predicted probabilities

and observed outcomes (Steyerberg et al., 2010). Uncertainty in test-set ROC-AUC estimates was quantified using 95% percentile bootstrap confidence intervals based on 2,000 resamples of the held-out test set (Carpenter & Bithell, 2000). Similar performance measures have been employed in previous studies applying machine-learning methods to musculoskeletal outcomes (Luo et al., 2024; Li et al., 2026).

2.5. Model Interpretation

The RF model was further examined using permutation importance and SHapley Additive exPlanations (SHAP). Permutation importance was calculated on the held-out test set using ROC-AUC as the performance measure, with 30 permutations performed for each predictor (Breiman, 2001). SHAP values were subsequently used to characterize the magnitude and direction of individual feature contributions to model predictions (Lundberg & Lee, 2017). SHAP-based approaches have previously been used to support the interpretation of machine-learning models for musculoskeletal outcomes (Luo et al., 2024).

All analyses were conducted in Python using the scikit-learn framework (Pedregosa et al., 2011).

3. Results

3.1. Model Performance

A total of 416 participants were included in the analysis, of whom 332 were assigned to the training set and 84 to the held-out test set through stratified sampling. The test set comprised 40 participants who reported upper-back musculoskeletal symptoms and 44 who did not.

The results of repeated stratified 5-fold cross-validation with 10 repetitions are presented in Figure 1. The two models demonstrated comparable performance across the repeated validation procedure. The mean ROC-AUC was 0.548 ± 0.072 for Logistic Regression (LR) and 0.542 ± 0.065 for Random Forest (RF), while the corresponding mean accuracy values were 0.524 ± 0.062 and 0.530 ± 0.057 , respectively. LR yielded higher mean sensitivity (0.470 vs. 0.424) and F1-score (0.486 vs. 0.463), whereas RF achieved higher mean specificity (0.627 vs. 0.575). Overall, the distributions of the performance measures across the 50 validation results showed considerable variability and substantial overlap between the two models (Figure 1).

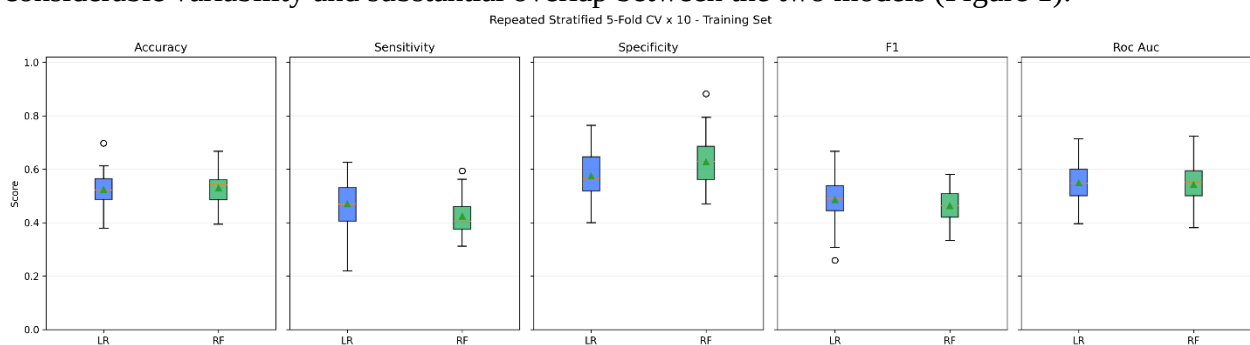


Figure 1. Repeated stratified 5-fold cross-validation with 10 repetitions for Logistic Regression and Random Forest.

Performance on the held-out test set is summarized in Table 1. RF achieved an observed ROC-AUC of 0.606, compared with 0.569 for LR. In contrast, LR achieved higher accuracy (0.560 vs. 0.512), sensitivity (0.600 vs. 0.475), precision (0.533 vs. 0.487), and F1-score (0.565 vs. 0.481), whereas RF showed slightly higher specificity (0.545 vs. 0.523). The 95% bootstrap confidence intervals for ROC-AUC were 0.451–0.692 for LR and 0.484–0.726 for RF. The substantial overlap between these intervals, together with the inclusion of 0.50 in both intervals, indicates considerable uncertainty in the estimated discriminatory performance on the test set.

The Brier scores were similar for the two models, with values of 0.247 for LR and 0.241 for RF.

The ROC curves for the training and held-out test sets are presented in Figure 2. The apparent training ROC-AUC values were 0.648 for LR and 0.913 for RF, whereas the corresponding test-set values decreased to 0.569 and 0.606, respectively. The larger reduction observed for RF suggests that its apparent training performance was optimistic relative to its performance on unseen data. This discrepancy indicates that the generalizability of the RF model should be interpreted cautiously.

Table 1. Model performance on repeated cross-validation and the held-out test set.

Performance measure	Logistic Regression	Random Forest
Repeated CV ROC-AUC, mean $\pm$ SD	0.548 $\pm$ 0.072	0.542 $\pm$ 0.065
Repeated CV accuracy, mean $\pm$ SD	0.524 $\pm$ 0.062	0.530 $\pm$ 0.057
Training ROC-AUC	0.648	0.913
Test accuracy	0.560	0.512
Test sensitivity	0.600	0.475
Test specificity	0.523	0.545
Test precision	0.533	0.487
Test F1-score	0.565	0.481
Test ROC-AUC	0.569	0.606
Test ROC-AUC, 95% CI	0.451–0.692	0.484–0.726
Test Brier score	0.247	0.241

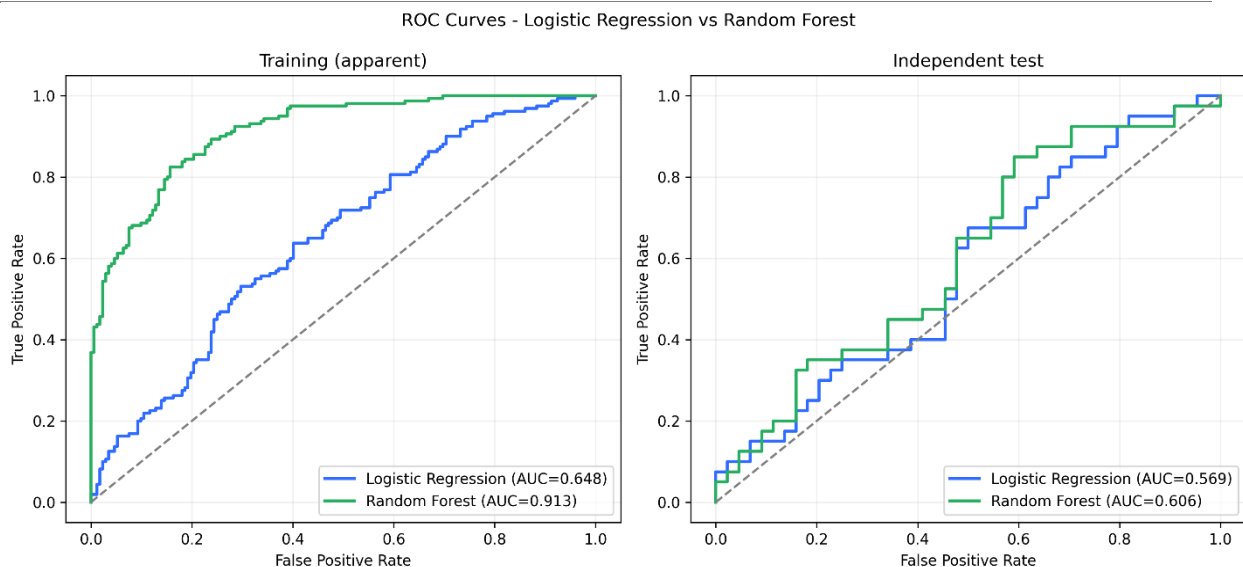


Figure 2. ROC curves for Logistic Regression and Random Forest on the training and held-out test sets.

Overall, both the repeated cross-validation and held-out test set results indicate limited discriminatory performance. Although RF produced a higher observed ROC-AUC on the held-out test set, this pattern was not observed during repeated cross-validation, where the two models performed similarly. Therefore, the test-set difference in ROC-AUC should not be interpreted as evidence that RF consistently outperformed LR.

3.2. Random Forest Feature Importance

Permutation importance was used to assess the contribution of the original predictors to the discriminatory performance of the RF model on the held-out test set. Current year of study and

BMI showed the highest mean permutation importance, with decreases in ROC-AUC of 0.0395 and 0.0386, respectively, when permuted. These variables were followed by age (0.0276) and degree specialization (0.0262). Weekly seated class hours (0.0105), duration of chair use (0.0079), and weekly class hours (0.0060) showed smaller positive importance values.

Degree pursued and college/institute type had permutation importance values close to zero, whereas gender (−0.0050) and accommodation type (−0.0199) showed negative mean values. These results indicate that permuting these predictors did not reduce test-set discrimination and, for the latter two variables, produced a small average increase in ROC-AUC. Several estimates also showed substantial variability relative to their mean values, as reflected by their standard deviations. Accordingly, the ranking should be interpreted as a descriptive measure of predictor contribution within the fitted RF model rather than as evidence of independent or causal associations with upper-back musculoskeletal symptoms.

Table 2. Random Forest permutation importance on the held-out test set.

Predictor	Mean decrease in ROC-AUC	SD
Current year of study	0.0395	0.0196
BMI	0.0386	0.0330
Age	0.0276	0.0132
Degree specialization	0.0262	0.0213
Weekly seated class hours	0.0105	0.0120
Duration of chair use	0.0079	0.0196
Weekly class hours	0.0060	0.0152
Degree pursued	−0.0001	0.0038
College/institute type	−0.0002	0.0036
Gender	−0.0050	0.0226
Accommodation type	−0.0199	0.0286

3.3. SHAP Analysis

SHAP analysis was used to further examine the contribution of individual features to RF predictions (Figure 3). Among the encoded features, accommodation type, BMI, gender, duration of chair use, current year of study, age, and weekly class-related exposure exhibited the largest mean absolute SHAP values. These results indicate that these features had comparatively greater influence on the model's individual predictions, although the magnitude and direction of their contributions varied across participants.

Differences were observed between the SHAP and permutation importance results. Most notably, accommodation type appeared among the more influential features according to mean absolute SHAP values, despite showing negative permutation importance on the held-out test set. This difference indicates that a feature can contribute substantially to individual predictions within the fitted model without necessarily improving its discriminatory performance on unseen data. Thus, SHAP importance reflects the extent to which the model uses a feature in generating predictions, whereas permutation importance reflects its contribution to the selected out-of-sample performance measure.

Given the limited overall discriminatory performance of the RF model, the SHAP findings should be interpreted primarily as an explanation of model behavior rather than as evidence that the identified features constitute independent or causal determinants of upper-back musculoskeletal symptoms.

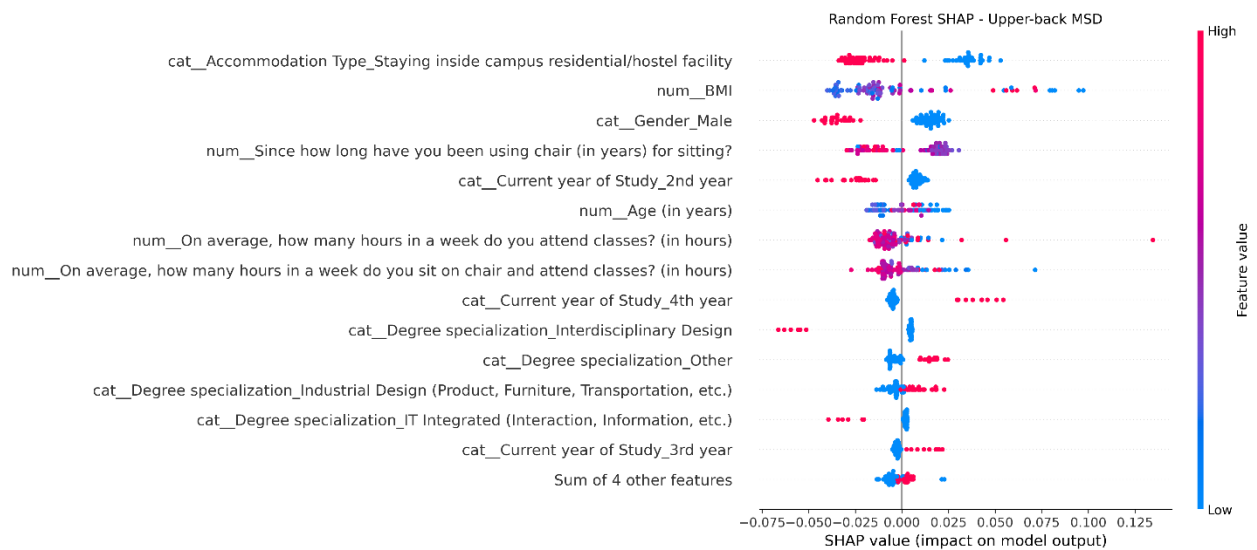


Figure 3. SHAP feature importance for Random Forest predictions.

4. CONCLUSION

This study evaluated the performance of Logistic Regression and Random Forest in classifying upper-back musculoskeletal symptom status among design students using demographic, academic, and sitting-related characteristics. Random Forest yielded a higher observed ROC-AUC than Logistic Regression on the held-out test set; however, both models demonstrated limited discriminatory performance. The repeated cross-validation results were also similar between the two models, suggesting that the predictors included in the analysis contained limited information for distinguishing students with and without upper-back symptoms. In addition, the difference between the apparent training and test performance of Random Forest indicates that its generalizability to unseen data should be interpreted cautiously.

Model interpretation provided further information on how the included variables contributed to Random Forest predictions. Current year of study, BMI, age, and degree specialization showed the highest permutation importance values, whereas SHAP analysis indicated additional contributions from accommodation type, gender, duration of chair use, and class-related sitting characteristics. Differences between the permutation importance and SHAP results also indicate that features contributing to individual model predictions did not necessarily improve out-of-sample discrimination. Given the overall predictive performance of the model, these findings should be interpreted as characteristics of the fitted model rather than as evidence of independent or causal relationships with upper-back musculoskeletal symptoms.

Overall, the findings indicate that the demographic, academic, and basic sitting-related variables available in the dataset were insufficient to achieve strong discrimination of upper-back symptom status among design students. Future studies could incorporate more detailed information on workstation ergonomics, sitting posture and sedentary behavior, physical activity, psychosocial characteristics, and design-related study activities. Larger and more diverse samples, together with external validation in independent student populations, would also be useful for assessing the reproducibility and generalizability of predictive models across different educational settings.

REFERENCES

- Algabbani, M. F. (2024). Prevalence of musculoskeletal pain among architecture undergraduates students: A cross-sectional study. *Work*, 78(3). <https://doi.org/10.3233/WOR-230459>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Carpenter J, Bithell J. Bootstrap confidence intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians. *Stat Med*. 2000 May 15;19(9):1141-64. doi: 10.1002/(sici)1097-0258(20000515)19:9<1141::aid-sim479>3.0.co;2-f. PMID: 10797513.
- Fouad, D. M., Mahfouz, M. M., Mohamed, M. M., Elzanaty, M. Y., & Abd El-Hafeez, T. (2025). Classification of musculoskeletal pain using machine learning. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12049-9>
- Janc, M., Jozwiak, Z., Jankowska, A., Makowiec-Dabrowska, T., Kujawa, J., & Polanska, K. (2023). Ergonomics of E-Learning Workstations and the Prevalence of Musculoskeletal Disorders—Study among University Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph20043309>
- Kandasamy, G., Almanasef, M., Almeleebia, T., Orayj, K., Shorog, E., Alshahrani, A. M., Prabahar, K., Veeramani, V. P., Amirthalingam, P., Alqifari, S. F., Alrashidi, F., Aldurum, M., Almutiri, F., Alzaidi, A., & Almutairi, F. (2024). Prevalence of musculoskeletal pain among undergraduate students. *Frontiers in Medicine*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1403267>
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3). [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X)
- Li, J., Zhang, X., Li, Y., Ding, W., Duan, W., Lim, D., Liang, Y., & Feng, Z. (2026). Determinants of work-related musculoskeletal disorders among coal miners in Jining, China: development of a predictive risk model. *Frontiers in Public Health*, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1729879>
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4765–4774.
- Luo, N., Xu, X., Jiang, B., Zhang, Z., Huang, J., Zhang, X., Tan, Q., Wang, X., Bai, S., Liu, S., Pan, Y., Tang, C., & Zhu, P. (2024). Explainable machine learning framework to predict the risk of work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders among healthcare professionals. *Frontiers in Public Health* (Vol. 12). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1414209>
- Parto, D. N., Wong, A. Y., & Macedo, L. (2023). Prevalence of musculoskeletal disorders and associated risk factors in canadian university students. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06630-4>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12.
- Sallehuddin, M. I. M., Yasin, S. M., Isa, M. R., Razak, T. R., Asraff, M. S. M., Rameli, N. A. C., Shahriman-Teruna, M. M., Salleh, M. M. M., Yusoff, M. Z. M., & Khebir, M. H. A. (2026). Factors associated with work-related musculoskeletal disorders using machine learning approaches: a systematic review. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 38, 1–15. <https://doi.org/10.35371/AOEM.2026.38.E10>

- Sasikumar, V., & Binoosh, S. C. A. B. (2020). A model for predicting the risk of musculoskeletal disorders among computer professionals. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(2). <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1480583>
- Shaheen, A. A. M., & Algabbani, M. F. (2026). Architecture and planning students' awareness of ergonomic and work-related demands: A cross-sectional study in Riyadh, Saudi Arabia. *Work*, 83(4):967-978. doi: 10.1177/10519815251392556. Epub 2025 Nov 6. PMID: 41197153.
- Silva, J. M. N. da, Santos, A. O., Tavares, J. F. G., Vieira, E. M. de A., Leite, W. K. dos S., Bispo, L. G. M., & Martins, V. W. B. (2026). Prediction of musculoskeletal discomfort through integration of item response theory and machine learning. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 112, 103899. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2026.103899>
- Srivastava, A. (2025). Pain points: A survey dataset on Musculoskeletal symptoms among Design students in India. *Mendeley Data*, V1. <https://doi.org/10.17632/tvf6vw5t6h.1>
- Steyerberg EW, Vickers AJ, Cook NR, Gerds T, Gonen M, Obuchowski N, Pencina MJ, Kattan MW. (2010). Assessing the performance of prediction models: a framework for traditional and novel measures. *Epidemiology*. 2010 Jan;21(1):128-38. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181c30fb2.
- Taifa, I. W. R. (2022). A student-centred design approach for reducing musculoskeletal disorders in India through Six Sigma methodology with ergonomics concatenation. *Safety Science*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105579>

ACİL SERVİSTE L MATRİS VE FİNE KINNEY YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE PAYDAŞ AĞIRLIKLİ HİBRİT BİR RİSK ÖNCELİKLENDİRME MODELİ (HRÖS) ÖNERİSİ

Çiğdem YURTSEVEN

Gedik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Programı, İş Sağlığı ve Güvenliği, 34876 Kartal,
İstanbul

ORCID ID: 0000-0003-3728-840X

Dr. Öğr. Üyesi Özgür YURTSEVER

Nişantaşı Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Bakım ve Onarım, 34398
Maslak, İstanbul

ORCID ID: 0009-0008-7359-2672

ÖZET

Acil servisler, biyolojik, kimyasal, fiziksel, ergonomik ve psikososyal tehlikelerin bir arada ve sürekli bulunduğu, sağlık kuruluşlarının en yüksek riskli birimlerindendir. Bu çalışmada, bir acil servise ait 54 tehlike/risk için eş zamanlı yapılmış L Matris (5×5) ve Fine Kinney risk değerlendirmeleri nicel uyum ölçütleriyle karşılaştırılmış ve çalışan sağlığını önceleyen özgün bir hibrit önceliklendirme modeli (HRÖS) geliştirilmiştir. İki yöntemin risk puanı sıralamaları güçlü biçimde ilişkili bulunmuş (Spearman $\rho = 0,83$; $p < 0,001$), ancak seviye sınıflandırmalarında uyum zayıf kalmıştır (ağırlıklı $\kappa = 0,143-0,274$; tam uyum %33,3). L Matris riskleri yalnızca iki seviyeye toplayarak düşük ayırt edicilik göstermiş ve "yüksek öncelikli" risk sayısını (38) Fine Kinney'e (11) kıyasla belirgin biçimde şişirmiştir (McNemar $p < 0,001$). Önerilen HRÖS modeli her iki yöntemin sıralamasını korurken dört anlamlı öncelik sınıfı üretmiş ve en yüksek ayırt ediciliği sağlamıştır (Shannon entropisi 1,756 bit). HRÖS'e göre en kritik risklerin tamamı çalışanları etkilemekte olup ağırlıklı biçimde biyolojik ve kimyasal-fiziksel tehlikelerden oluşmaktadır. Sonuçlar, sürekli maruziyetli klinik ortamlarda tek başına L Matris kullanımının yetersiz kaldığını; maruziyet frekansını ve paydaş kapsamını birleştiren HRÖS'ün uygulanabilir ve tekrarlanabilir bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Acil Servis; Risk Değerlendirmesi; L Matris; Fine Kinney; İş Sağlığı Ve Güvenliği; Hibrit Model

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE L-MATRIX AND FINE-KINNEY METHODS IN THE EMERGENCY DEPARTMENT AND A STAKEHOLDER- WEIGHTED HYBRID RISK-PRIORITIZATION MODEL PROPOSAL

ABSTRACT

Emergency departments (EDs) are among the highest-risk units of health-care institutions, with biological, chemical, physical, ergonomic and psychosocial hazards present simultaneously and continuously. This study comparatively analyses, using quantitative agreement metrics, an L-Matrix (5×5) and a Fine-Kinney risk assessment performed concurrently on 54 ED hazards, and develops an original worker-centred hybrid prioritization model (HRÖS). The two methods' risk-score rankings were strongly correlated (Spearman $\rho = 0,83$; $p < 0.001$), but categorical agreement was weak (weighted $\kappa = 0,143-0,274$; exact agreement 33,3%). The L-Matrix collapsed all risks into two levels and markedly inflated the number of "high-priority" risks (38 vs. 11; McNemar $p < 0.001$). The proposed HRÖS preserved both rankings while producing

four meaningful priority classes and the highest discrimination (Shannon entropy 1,756 bit). All of the most critical risks under HRÖS affect workers and are dominated by biological and chemical–physical hazards.

Keywords: Emergency Department; Risk Assessment; L-Matrix; Fine–Kinney; Occupational Health And Safety; Hybrid Model

1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) mevzuatı, işverene işyerindeki tehlikeleri belirleme ve risk değerlendirmesi yapma yükümlülüğü getirmekte, ancak belirli bir yöntem dayatmamaktadır (6331 sayılı Kanun, 2012). Bu esneklik, sahada 5×5 L Matris ve Fine Kinney gibi yarı-nicel yöntemlerin yaygınlaşmasına yol açmıştır. Sağlık kuruluşları, barındırdıkları tehlike çeşitliliği bakımından sıradan işyerlerinden ayrılır; acil servisler ise bu çeşitliliğin en yoğun ve kesintisiz yaşandığı birimlerdir (Özden vd., 2023). Uluslararası kanıtlar, acil servis çalışanlarının şiddet, kesici-delici alet yaralanması ve tükenmişlik açısından yüksek risk altında olduğunu göstermektedir (Liu vd., 2019; Aljohani vd., 2021; Bayram vd., 2017; Algunaee vd., 2020; Dugani vd., 2026; Sahebi vd., 2025; Khaling vd., 2026).

Bunun yanı sıra, acil servis çalışanlarının kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tehlikelere ilişkin farkındalık düzeyi de güvenlik kültürünün önemli bir göstergesi olarak öne çıkmaktadır (Bulut vd., 2024).

Risk değerlendirmesinin niteliği, alınacak tedbirlerin önceliğini ve dolayısıyla çalışan sağlığının korunma düzeyini doğrudan belirler. Ne var ki farklı yöntemler aynı tehlike için farklı seviyeler üretebilir. Kuramsal olarak, olasılık ve şiddet eksenlerini kategorik eşleştiren matris yöntemlerinin çözünürlüğü düşüktür; nicel olarak farklı riskleri aynı hücreye yerleştirebilir (Cox, 2008). Maruziyet frekansını ayrı bir değişken olarak ele alan Fine Kinney ise sürekli maruziyetli ortamlarda daha gerçekçi skorlar üretebilir.

Buna karşın, iki yöntemi aynı veri seti üzerinde nicel uyum ölçütleriyle (kappa, McNemar, sıra korelasyonu) karşılaştıran ve buradan acil servise özgü bir çözüm öneren çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca acil servisin çok paydaşlı doğası (aynı riskin çalışan, hasta ve ziyaretçiyi birlikte etkilemesi) önceliklendirmeye nadiren dâhil edilir.

Bu çalışmanın amacı: (I) L Matris ve Fine Kinney sonuçlarını 54 risk üzerinde nicel olarak karşılaştırmak; (II) yöntem seçiminin çalışan sağlığı önceliklendirmesine etkisini ortaya koymak; (III) her iki yöntemin bilgisini, maruziyet frekansı ağırlığını ve paydaş kapsamını birleştiren özgün bir hibrit model (HRÖS) önermek ve doğrulamaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Tipi ve Veri Seti

Çalışma tanımlayıcı ve kesitsel tiptedir. Bir hastanenin acil servis biriminde İSG ekibince hazırlanan risk değerlendirme tablosundaki 54 tehlike/risk, evrenin tamamı olarak analiz edilmiştir. Her risk için tehlike tanımı, tehlike/risk grubu (çalışan, hasta/hasta yakını, ziyaretçi) ve hem L Matris (olasılık, şiddet) hem de Fine Kinney (frekans, olasılık, şiddet) parametreleri kayıtlıdır. Veriler anonimdir ve kişisel sağlık verisi içermez.

2.2. Risk Değerlendirme Yöntemleri

L Matris risk puanı, olasılık ile şiddetin çarpımıdır (1–25) ve beş seviyeye ayrılır. Fine Kinney puanı frekans × olasılık × şiddet ile hesaplanır ve kabul edilebilir–çok yüksek arası beş seviyeye ayrılır. Maruziyet frekansının ayrı bir değişken olması, Fine Kinney'i matris yönteminden ayıran temel özelliktir.

2.3. Önerilen Hibrit Model (HRÖS)

İki yöntemin farklı ölçekli puanları önce 0–100 aralığına normalleştirilir: $L_{norm} = (L/25) \cdot 100$ ve $FK_{norm} = (FK/600) \cdot 100$. Hibrit skor, ağırlıklı ortalama ile paydaş çarpanının (PÇ) çarpımıdır:

$$HR\ddot{O}S = (0,40 \cdot L_{norm} + 0,60 \cdot FK_{norm}) \cdot P\check{C}$$

Fine Kinney bileşenine biraz daha yüksek ağırlık (0,60), sürekli maruziyetin klinik ortamdaki belirleyiciliği nedeniyle verilmiştir. PÇ, riskten etkilenen paydaş grubu sayısına göre 1,00 (tek grup), 1,10 (iki grup) veya 1,20 (üç grup) değerini alır. HRÖS skoru beş öncelik sınıfına ayrılır: I–Kritik (≥ 60), II–Yüksek (40–60), III–Önemli (25–40), IV–Orta (12–25), V–Düşük (< 12).

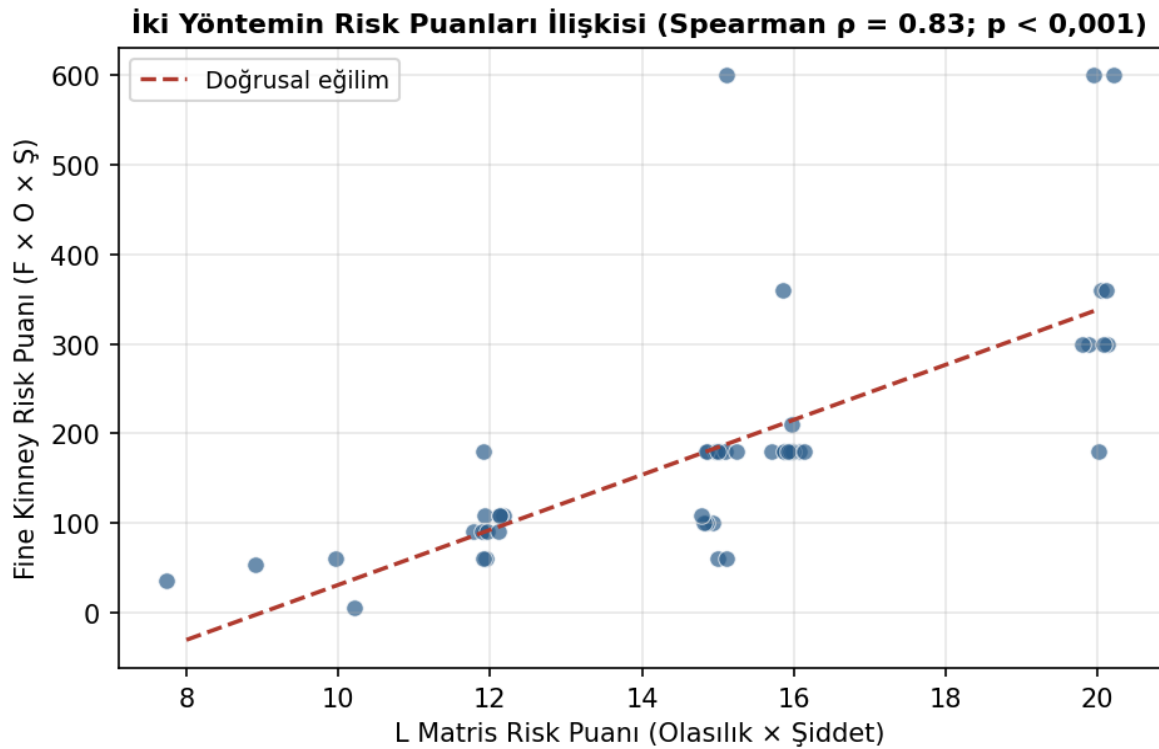
2.4. İstatistiksel Analiz

Analizler Python (pandas, SciPy, statsmodels) ile yürütülmüştür. Yöntemler arası ilişki Spearman/Kendall/Pearson katsayılarıyla; seviye uyumu ağırlıklı Cohen kappa (Cohen, 1960) ve tam uyum yüzdesiyle; yüksek öncelikli risklerdeki asimetri McNemar testiyle (McNemar, 1947); Fine Kinney bileşenlerinin katkısı standartlaştırılmış regresyonla; ayırt edicilik ise Shannon entropisiyle (Shannon, 1948) değerlendirilmiştir. HRÖS ağırlıklarının etkisi duyarlılık analiziyle sınanmıştır ($p < 0,05$).

3. BULGULAR

Değerlendirilen 54 riskin tamamı çalışanları (%100), 48'i hastaları, 26'sı ziyaretçileri etkilemektedir. Tehlike kategorileri arasında biyolojik (15) ve kimyasal/fiziksel (13) riskler başı çekmektedir.

L Matris'e göre riskler yalnızca iki seviyeye toplanmıştır: 38 Yüksek, 16 Orta. Fine Kinney ise beş seviyeye yayılmıştır (35 önemli, 8 yüksek, 7 kesin, 3 çok yüksek, 1 kabul edilebilir). İki yöntemin puanları güçlü biçimde ilişkilidir (Spearman $\rho = 0,83$; Kendall $\tau = 0,741$; $p < 0,001$) (Şekil 1).



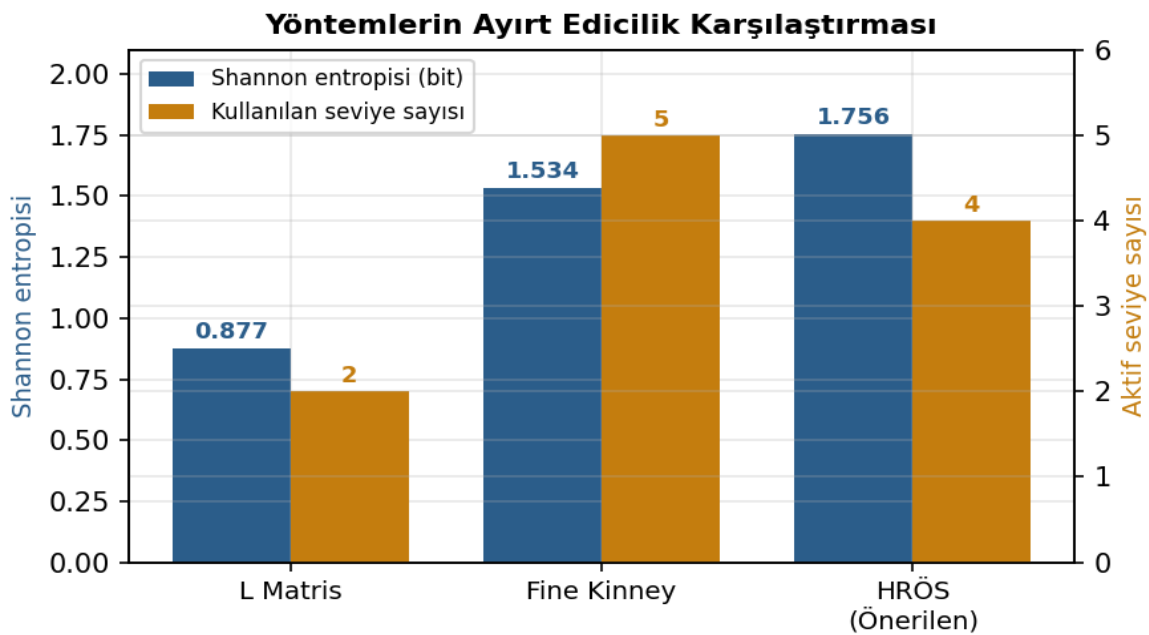
Şekil 1. L Matris ve Fine Kinney risk puanları arasındaki ilişki

Sıralama uyumuna karşın seviye uyumu zayıftır (ağırlıklı $\kappa = 0,143-0,274$; tam uyum %33,3). Uyumsuzluk asimetriktir: 54 riskin 33'ünde L Matris daha yüksek seviye atamış, yalnızca 3'ünde Fine Kinney daha yüksek vermiştir. L Matris 38 riski yüksek öncelikli işaretlerken Fine Kinney yalnızca 11 riski işaretlemiştir; bu asimetri anlamlıdır (McNemar $p < 0,001$) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Yöntemler arası ilişki ve uyum istatistikleri

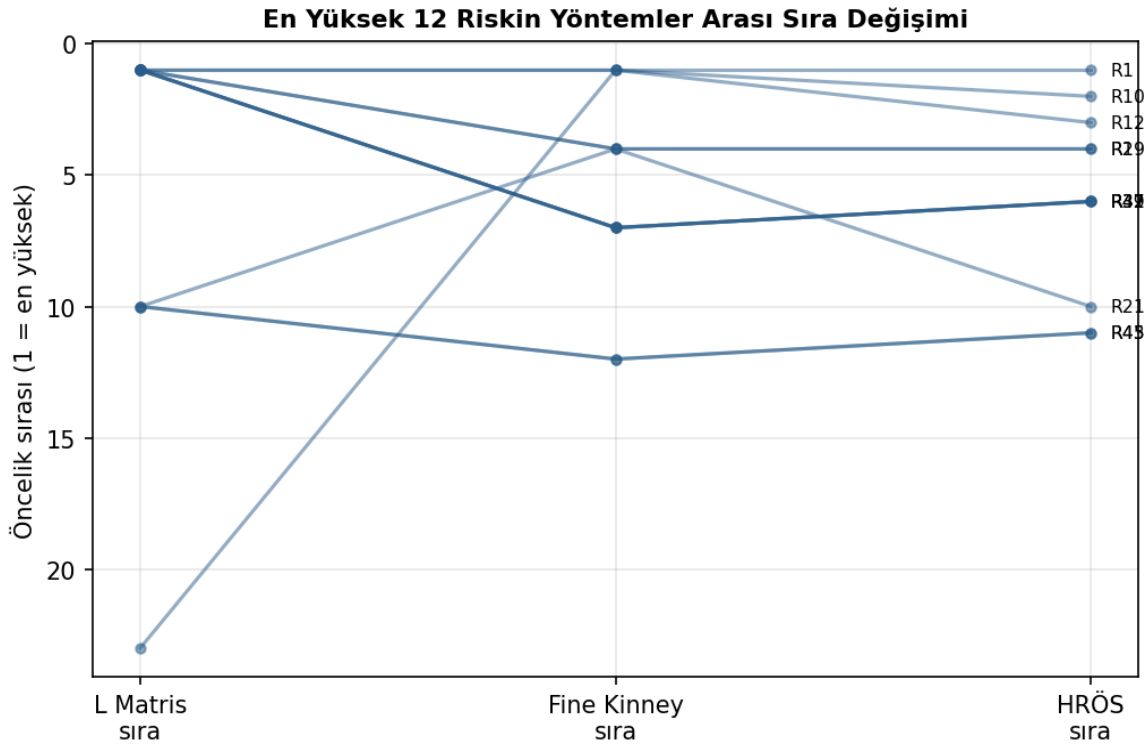
İstatistik	Değer
Spearman ρ	0,83
Kendall τ	0,741
Pearson r	0,707
Cohen κ (doğrusal)	0,143
Cohen κ (karesel)	0,274
Tam uyum	33,3%
Yüksek öncelik (L / FK)	38 / 11
McNemar	$p < 0,001$

Standartlaştırılmış regresyon, Fine Kinney puanını en çok olasılık bileşeninin belirlediğini göstermiştir ($\beta = 0,51$; frekans $\beta = 0,381$; şiddet $\beta = 0,34$; $R^2 = 0,843$). Bu, sağlık ortamında yalnızca ağır sonuçlu ama seyrek olaylara odaklanmanın yanıltıcı olabileceğini düşündürür. Önerilen HRÖS modeli riskleri dört anlamlı sınıfa dağıtmıştır (10 Kritik, 25 Yüksek, 15 Önemli, 4 Orta). HRÖS'ün ayırt ediciliği (entropi 1,756 bit) hem L Matris'ten (0,877) hem Fine Kinney'den (1,534) yüksektir (Şekil 2), ve her iki yöntemle güçlü biçimde ilişkilidir ($\rho = 0,888$ ve $0,937$). Duyarlılık analizinde ağırlıklar makul aralıklarda değiştirildiğinde sıralama korunmuştur ($\rho \geq 0,955$).



Şekil 2. Yöntemlerin ayırt edicilik (entropi ve aktif seviye) karşılaştırması

HRÖS'ün en kritik (Sınıf I) ve yüksek (Sınıf II) risklerinin tamamı çalışanları etkilemekte ve ağırlıklı biçimde biyolojik (11) ile kimyasal-fiziksel (10) tehlikelerden oluşmaktadır. Örneğin tıbbi atık yönetimi riski L Matris'te çok sayıda riskle aynı seviyede kalırken, Fine Kinney ve HRÖS'te en üst sıralarda yer almaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. En yüksek 12 riskin yöntemler arası sıra değişimi

4. TARTIŞMA

Bulgular, iki yöntemin risklerin göreceli önemi konusunda uzlaştığını ancak seviye sınıflandırmasında ayrıştığını göstermektedir. L Matris'in sistematik aşırı sınıflandırma eğilimi, matris yöntemlerinin düşük çözünürlük ve aralık sıkışması eleştirisini ampirik olarak doğrulamaktadır (Cox, 2008). Acil servis gibi genel risk düzeyi zaten yüksek bir ortamda neredeyse tüm risklerin "yüksek" işaretlenmesi, önceliklendirmenin ayırt ediciliğini yitirmesine (alarm yorgunluğu; Michels vd., 2025) ve kısıtlı İSG kaynaklarının seyrrelmesine yol açar; bu, doğrudan çalışan sağlığını etkileyen bir zafiyettir. Ayrıca, KBRN tehlikelerine yönelik farkındalık eksikliği (Bulut vd., 2024) de bu zafiyeti derinleştiren bir unsur olarak değerlendirilmelidir.

En yüksek riskin şiddete maruz kalma olması ve biyolojik risklerin öne çıkması, literatürle tutarlıdır (Aljohani vd., 2021; Kaweti ve Feleke, 2024). Fine Kinney puanının olasılık ve frekans bileşenlerinden daha çok etkilenmesi, yöntemin maruziyet frekansını içermesinin sağlık ortamındaki katma değerini vurgular. HRÖS modeli, bulanık çok ölçütlü karar verme temelli genişletmelere (Gul vd., 2021; Wang vd., 2023; Gökler vd., 2022) kıyasla ek uzman paneli ve karmaşık matematiksel altyapı gerektirmeden, kurumun zaten ürettiği verilerle çalışması bakımından pratik bir avantaj sunar. En kritik risklerin tamamının çalışanları etkilemesi ve biyolojik/kimyasal tehlikelerden oluşması, modelin çalışan sağlığını doğrudan önceliklendirdiğini göstermektedir.

Çalışmanın sınırlılıkları, verinin tek bir acil servise ait olması ve risk puanlarının uzman görüşüne dayalı öznelliğidir. Bununla birlikte model, yönteme değil veri yapısına bağlı olduğundan farklı birimlerde tekrarlanabilir; ağırlık ve çarpan değerleri gelecekte uzman panelleriyle kalibre edilerek geçerliliği güçlendirilebilir.

5. SONUÇ

Acil serviste tek başına L Matris kullanımı, aşırı sınıflandırma nedeniyle önceliklendirme gücünü yitirmektedir. Maruziyet frekansını içeren Fine Kinney daha ayırt edici sonuçlar üretmekte; paydaş kapsamını da katan HRÖS ise en yüksek ayırt ediciliği sağlayan, çalışan sağlığını önceleyen, uygulanabilir ve tekrarlanabilir bir önceliklendirme çerçevesi sunmaktadır. Kurumların acil servis gibi sürekli maruziyetli birimlerde tek yöntemle yetinmeyip hibrit bir yaklaşım benimsemesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Algunmeeyn, A., El-Dahiyat, F., Altakhineh, M. M., Azab, M., & Babar, Z.-U.-D. (2020). Understanding the factors influencing healthcare providers' burnout during the outbreak of COVID-19 in Jordanian hospitals. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 13, 53. <https://doi.org/10.1186/s40545-020-00262-y>
- Aljohani, B., Burkholder, J., Tran, Q. K., Chen, C., Beisenova, K., & Pourmand, A. (2021). Workplace violence in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Public Health*, 196, 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2021.02.009>
- Bayram, B., Çetin, M., Çolak Oray, N., & Can, İ. Ö. (2017). Workplace violence against physicians in Turkey's emergency departments. *BMJ Open*, 7(6), e013568. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-013568>
- Bulut, A., Atıcı, E. (2024). The level of the emergency health workers professionals' knowledge about chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) hazards: The case of Turkey. *Work*. <https://doi.org/10.3233/WOR-230219>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Cox, L. A. (2008). What's wrong with risk matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
- Fine, W. T. (1971). Mathematical evaluations for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157–166.
- Gökler, S. H., Yılmaz, D., Ürük, Z. F., & Boran, S. (2022). A new hybrid risk assessment method based on Fine-Kinney and ANFIS methods for evaluation spatial risks in nursing homes. *Heliyon*, 8(10), e11028. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11028>
- Gul, M., Mete, S., Serin, F., & Celik, E. (2020). Fine–Kinney occupational risk assessment method and its extensions by fuzzy sets: a state-of-the-art review. In M. Gul, S. Mete, F. Serin, & M. F. Ak (Eds.), *Fine–Kinney-based fuzzy multi-criteria occupational risk assessment* (pp. 1–11). Springer. DOI:10.1007/978-3-030-52148-6_1
- Kaweti, G., & Feleke, T. (2024). Prevalence and associated factors of needlestick and sharp object injuries among healthcare workers in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Epidemiology*, 4, 1385417. <https://doi.org/10.3389/fepid.2024.1385417>
- Khaling, T., Verma, B., & Thomas, D. (2026). Occupational exposure to blood and body fluids, biosafety practices, and post-exposure prophylaxis utilization among emergency nurses: A systematic review. *Indian Journal of Preventive and Social Medicine*, 57(1). <https://doi.org/10.67212/ijpsm.v57i1.167>

- Kinney, G. F., & Wiruth, A. D. (1976). Practical risk analysis for safety management (NWC Technical Publication 5865). Naval Weapons Center.
- Kajjimu, J., Rakotomalala, D., Heimann, M.A., Oworinawe, S., Nanyanzi, M., Komagum, F., Makai, C., & Gidwani, S. (2026). Prevalence and associated factors of burnout and workplace stressors among emergency department healthcare workers in Uganda. *Emergency Medicine Journal*, 43(5), 291. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2025-215225>
- Liu, J., Gan, Y., Jiang, H., Li, L., Dwyer, R., Lu, K., ... & Lu, Z. (2019). Prevalence of workplace violence against healthcare workers: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and Environmental Medicine*, 76(12), 927–937. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105849>
- 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>
- Michels, E. A. M., Gilbert, S., Koval, I., & Wekenborg, M. K. (2025). Alarm fatigue in healthcare: a scoping review of definitions, influencing factors, and mitigation strategies. *BMC Nursing*, 24, 664. <https://doi.org/10.1186/s12912-025-03369-2>
- Özden, M. F., Yıldız, F., Erdil, F. N., & Yılmaz, S. (2023). Comprehensive evaluation of occupational accidents in a hospital setting: Insights from L-type matrix and Fine–Kinney risk assessment methods. *Medical Science and Discovery*, 10(5), 348–352. <https://doi.org/10.36472/msd.v10i5.955>
- Sahebi, A., Tahernejad, S., Rezaei, E., Shahmahmoudi, F., Pirhadi, S., & Tahernejad, A. (2025). Needle stick injuries among emergency medical services personnel: a systematic review and meta-analysis. *BMC Nursing*, 24, 697. <https://doi.org/10.1186/s12912-025-03399-w>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Wang, W., Wang, Y., Fan, S., Han, X., Wu, Q., & Pamučar, D. (2023). A complex spherical fuzzy CRADIS method based Fine–Kinney framework for occupational risk evaluation in natural gas pipeline construction. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 220, 111246. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111246>
- İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (No. 6331). (2012). *Resmî Gazete*, 28339.

SUBEPITELYAL BAĞ DOKUSU GREFTİ İLE DESTEKLENEN TÜNEL TEKNIĞİNDE EMDOGAIN® VE PERIACRYL® KULLANIMI: BİR OLGU SUNUMU

Arş. Gör. Can Okan GÜL

Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı
,Gaziantep,Türkiye

ORCID ID: 0009-0001-7991-5427

Dr. Dt. Süleyman Ziya ŞENYURT

Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı
,Gaziantep,Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-5536-9110

Prof. Dr. Kamile ERCIYAS

Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji Anabilim Dalı
,Gaziantep,Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-9940-0423

ÖZET

Diş eti çekilmesi kök yüzeyinin açığa çıkması ile karakterize estetik sorunlara ve dentin hassasiyetine sebep olabilen yaygın mukogingival deformitelerdir. Bu olgu sunumunda, RT1 tip diş eti çekilmesinin tedavisinde tünel tekniği ile birlikte subepitelyal bağ dokusu grefti (SBDG), mine matriks türevi (Emdogain®) ve PeriAcryl® kullanımının klinik sonuçlarının sunulması amaçlandı. Sistemik olarak sağlıklı, sigara kullanmayan 38 yaşındaki erkek hastada, 13 numaralı dişte 4 mm derinliğinde RT1 tip diş eti çekilmesi saptandı. Lokal anestezi altında tünel tekniği uygulanarak palatinal bölgeden elde edilen SCTG, PrefGel® ile kök yüzeyi koşullandırıldıktan ve Emdogain® uygulandıktan sonra hazırlanan tünel içerisine yerleştirildi. Donör sahada Spongostan® ve PeriAcryl® ile yara yönetimi sağlandı. Altı aylık takip sonunda kök yüzeyinin büyük ölçüde örtüldüğü, dentin hassasiyetinin tamamen ortadan kalktığı ve estetik açıdan tatmin edici bir iyileşme elde edildiği gözlemlendi. Bir yıllık takipte bu durum korundu. Bu olgu, uygun endikasyona sahip diş eti çekilmelerinde tünel tekniğinin SBDG ile birlikte uygulanmasının başarılı klinik sonuçlar sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, Emdogain® ve PeriAcryl® kullanımının klinik katkısının daha kapsamlı çalışmalarla değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Diş eti çekilmesi, tünel tekniği, subepitelyal bağ dokusu grefti, kök örtme, mine matriks türevi.

USE OF ENAMEL MATRIX DERIVATIVE AND PERIACRYL® IN THE TUNNEL TECHNIQUE SUPPORTED BY A SUBEPITHELIAL CONNECTIVE TISSUE GRAFT: A CASE REPORT

ABSTRACT

Gingival recession is a common mucogingival deformity characterized by root surface exposure and may be associated with esthetic concerns and dentin hypersensitivity. This case report aimed to present the clinical outcomes of the tunnel technique combined with a subepithelial connective tissue graft (SCTG), enamel matrix derivative (Emdogain®), and PeriAcryl® in the treatment of an RT1 gingival recession. A 38-year-old systemically healthy, non-smoking male presented with a 4-mm RT1 gingival recession affecting tooth #13. Following local anesthesia, the tunnel technique was performed, and an SCTG harvested from the palatal donor site was

positioned within the prepared tunnel after root surface conditioning with PrefGel® and application of Emdogain®. The donor site was managed with Spongostan® and PeriAcryl®. At the 6-month follow-up, substantial root coverage, complete resolution of dentin hypersensitivity, and satisfactory esthetic healing were observed without postoperative complications. These clinical and esthetic outcomes remained stable at the 1-year follow-up. The findings of this case suggest that the tunnel technique combined with SCTG may provide favorable clinical outcomes in appropriately selected RT1 gingival recession defects. However, the additional clinical contributions of Emdogain® and PeriAcryl® cannot be determined from a single case and require further evaluation in well-designed controlled clinical studies.

Keywords: Enamel matrix derivative; Gingival recession; Root coverage; Subepithelial connective tissue graft; Tunnel technique.

1. GİRİŞ

2017 Dünya Çalıştay'ında önerilen periodontal ve peri-implant hastalıklar ile durumlar sınıflandırmasında diş eti çekilmeleri, mukogingival deformiteler ve diş çevresindeki gelişimsel veya kazanılmış durumlar başlığı altında ele alınmaktadır. Bu deformiteler, periodontal sağlığı olumsuz etkileyebilmesinin yanı sıra estetik görünüm ve hasta memnuniyeti üzerinde belirleyici rol oynayan önemli klinik sorunlar arasında yer almaktadır (Cortellini & Bissada, 2018). Diş eti çekilmesi ise diş eti kenarının mine-sement sınırına göre apikal yönde yer değiştirmesi sonucunda kök yüzeyinin açığa çıkmasıyla karakterize yaygın bir mukogingival deformite olarak tanımlanmaktadır (Cairo et al., 2011).

Diş eti çekilmeleri tek bir dişle sınırlı kalabileceği gibi, birden fazla diş etkileyen yaygın lezyonlar şeklinde de görülebilmektedir. İlerleyici özellik gösterebilen bu durum, kök yüzeyinin giderek daha fazla açığa çıkmasına bağlı olarak estetik problemlerin yanı sıra dentin hassasiyeti, kök çürüğü ve servikal doku kayıpları gibi çeşitli klinik komplikasyonların gelişmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle diş eti çekilmelerinin değerlendirilmesinde yalnızca çekilmenin varlığına odaklanılması yeterli olmayıp, lezyonun klinik özellikleri, periodontal fenotip ve çevre periodontal dokuların birlikte ele alınması uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesi ve öngörülebilir klinik sonuçların elde edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Imber & Kasaj, 2021).

Diş eti çekilmelerinin etiyolojisi multifaktöriyel olup, plak kaynaklı inflamasyon, periodontal hastalıklar, travmatik diş fırçalama alışkanlıkları, ortodontik tedaviler, ince periodontal fenotip, hatalı restorasyonlar ve çeşitli anatomik faktörler başlıca risk etkenleri arasında yer almaktadır (Cortellini & Bissada, 2018; Yadav et al., 2018). Yaşın ilerlemesiyle birlikte görülme sıklığı artan bu klinik durum, yalnızca estetik açıdan kaygı oluşturmakla kalmamakta; aynı zamanda dentin hassasiyeti, kök çürüğü, servikal aşınmalar, plak retansiyonu ve ağız sağlığıyla ilişkili yaşam kalitesinde azalma gibi çeşitli olumsuz sonuçlarla ilişkilendirilmektedir (Tavelli et al., 2018; Chambrone & Tatakis, 2015). Bu doğrultuda kök örtme cerrahilerinin temel amacı yalnızca açığa çıkmış kök yüzeyinin örtülmesi değil, periodontal sağlığın korunması, estetik beklentilerin karşılanması, dentin hassasiyetinin azaltılması ve uzun dönem yumuşak doku stabilitesinin sürdürülmesidir (Chambrone & Tatakis, 2015).

Periodontal plastik cerrahide açığa çıkmış kök yüzeylerinin örtülmesi amacıyla farklı cerrahi teknikler geliştirilmiş olsa da, subepitelyal bağ dokusu grefti (SCTG) öngörülebilir kök örtme başarısı, keratinize doku kazanımındaki etkinliği ve üstün estetik sonuçları sayesinde günümüzde altın standart tedavi yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır (Yadav et al., 2018). SCTG'nin çift yönlü vasküler beslenmeye olanak sağlaması, yumuşak doku kalınlığını artırması

ve greftin uzun dönem stabilitesini desteklemesi, tekniğin en önemli biyolojik avantajları arasında sayılmaktadır (Yadav et al., 2018). Bununla birlikte, kök örtme tedavisinin başarısı yalnızca tercih edilen greft materyaline bağlı değildir. Flep tasarımı, greftin kalınlığı ve stabilizasyonu ile yara iyileşmesini etkileyen biyolojik faktörler de klinik sonucun öngörülebilirliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Yadav et al., 2018; Chambrone & Tatakis, 2015).

Sistematik derlemeler ve meta-analizler, tünel tekniğinin hem tekli hem de çoklu diş eti çekilmelerinin tedavisinde yüksek kök örtme oranlarına ulaşabildiğini; özellikle SCTG ile kombine edildiğinde öngörülebilir ve başarılı klinik sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır (Tavelli et al., 2018; Mayta-Tovalino et al., 2023). Bu tekniğin papiller bütünlüğü koruması, vertikal gevşetme insizyonlarına gereksinim duymaması ve greftin iyi vaskülarize edilmiş bir alanda tamamen örtülmesine olanak tanınması, kanlanmanın sürdürülmesini ve yara iyileşmesinin desteklenmesini kolaylaştırmaktadır. Bu biyolojik avantajlar, uzun dönem doku stabilitesinin korunmasına ve estetik sonuçların iyileşmesine de katkıda bulunmaktadır (Tavelli et al., 2018).

Mine matriks türevi (Enamel Matrix Derivative; Emdogain®), periodontolojide uzun yıllardır kullanılan biyolojik ajanlardan biri olup, kullanım alanı zamanla endodonti, alveoler kemik koruma, implantoloji ve yumuşak doku iyileşmesini kapsayacak şekilde genişlemiştir (Sculean et al., 2007; Mercado et al., 2026). Kök örtme cerrahilerinde ise periodontal yara iyileşmesini ve rejeneratif süreci iyileştirmek amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Büyük oranda mine matriks proteinlerinden oluşan bu biyomateryalin sement oluşumunu uyardığı, periodontal ligament hücrelerinin proliferasyonunu artırdığı ve erken dönem yara iyileşmesini olumlu yönde etkilediği ortaya konmuştur (Sculean et al., 2007; Miron et al., 2016). Bu biyolojik özellikleri, Emdogain®'i periodontal plastik cerrahide rejeneratif iyileşmeyi desteklemek amacıyla en yaygın kullanılan biyolojik ajanlardan biri hâline getirmiştir (Miron et al., 2016; Mercado et al., 2026).

Greft stabilizasyonunun yanı sıra, cerrahi alanın etkin şekilde yönetilmesi de kök örtme işlemlerinde uzun dönem tedavi başarısını etkileyen temel unsurlardan biridir. Siyanoakrilat bazlı doku adezivleri; adeziv, hemostatik ve bakteriyostatik özellikleri sayesinde yara kenarlarının stabilizasyonunu destekleyerek iyileşme sürecine katkıda bulunabilmektedir. Deneyisel çalışmalar, bu materyallerin periodontal dokularla uyumlu biyolojik özellikler sergilediğini ve periodontal cerrahide güvenle kullanılabilir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur (Akhter, 2024). Bunun yanında, palatal donör sahada siyanoakrilat bazlı adezivlerin kullanımını değerlendiren klinik çalışmalar, postoperatif ağrı ve hasta morbiditesinin azaltılmasının yanı sıra yara iyileşmesinin olumlu yönde etkilenebileceğini göstermektedir (Tavelli et al., 2018). Bununla birlikte, PeriAcryl®'in tünel tekniği, SCTG ve Emdogain® ile birlikte uygulandığı klinik çalışmalara ait kanıtlar halen sınırlıdır. Bu nedenle, söz konusu biyolojik ve cerrahi yaklaşımların kombine kullanımına ilişkin klinik sonuçların ortaya konulması, mevcut literatürdeki bilgi birikimine katkı sağlayabilecek niteliktedir.

Bu olgu sunumunda, RT1 diş eti çekilmesinin tedavisinde tünel tekniği ve SCTG ile uygulanan Emdogain® ve PeriAcryl® kombinasyonunun klinik sonuçlarının sunulması ve elde edilen bulguların güncel literatür ışığında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Otuz sekiz yaşında, sistemik açıdan sağlıklı ve sigara kullanmayan erkek hasta, üst sağ kanin bölgesindeki diş eti çekilmesi ve soğuk uyarılarla ortaya çıkan hassasiyet nedeniyle kliniğimize başvurdu. Klinik değerlendirmede 13 numaralı dişte 4 mm çekilme derinliğine

sahip Miller Sınıf II ve Recession Type 1 (RT1) diş eti çekilmesi belirlendi. Periodontal fenotip ince-orta olarak değerlendirildi. Klinik ve radyografik incelemelerin ardından kök örtme cerrahisi planlandı ve işlem öncesinde hastadan yazılı aydınlatılmış onam alındı.

Cerrahi girişim lokal infiltrasyon anestezisi altında gerçekleştirildi. Sulküler insizyonun ardından papiller bütünlük korunarak tünel bıçakları yardımıyla yarım kalınlıklı tünel preparasyonu yapıldı. Alıcı saha, greftin gerilimsiz ve pasif biçimde yerleştirilmesine olanak sağlayacak ölçüde mobilize edildi.

Subepitelyal bağ dokusu grefti, palatinal donör sahadan tek insizyon tekniği kullanılarak yaklaşık 1–1,5 mm kalınlığında hazırlandı. Alıcı sahadaki kök yüzeyinin mekanik olarak düzleştirilmesini takiben, yüzey kondüsyonu amacıyla %24 EDTA jel PrefGel® 30 saniye süreyle uygulandı ve ardından serum fizyolojik ile yıkandı. Emdogain® uygulamasını takiben subepitelyal bağ dokusu grefti hazırlanan tünel içerisine yerleştirildi.

Greft, rehber sütürler yardımıyla tünel içerisine yerleştirilerek sabitlendi. Ardından tünel koronal yönde konumlandırıldı ve grefti tamamen örtecek şekilde askı sütürleriyle stabilize edildi. Palatinal donör sahaya hemostaz amacıyla Spongostan® yerleştirilerek çapraz sütürle sabitlendi. Son olarak yara yüzeyine siyanoakrilat bazlı doku adezivi PeriAcryl® uygulanarak donör saha kapatıldı.

Cerrahi işlemin ardından hastaya postoperatif bakım önerileri ayrıntılı olarak aktarıldı ve uygun medikal tedavi reçete edildi. Birinci hafta kontrolünde palatinal donör sahadaki sütürler uzaklaştırıldı; iyileşme sürecinde herhangi bir komplikasyona rastlanmadı. Alıcı bölgedeki sütürler ise ikinci haftada alındı. Üçüncü ve altıncı ay kontrollerinde cerrahi alanın stabilitesini koruduğu ve kök yüzeyinin büyük ölçüde örtüldüğü belirlendi. Dentin hassasiyeti tamamen ortadan kalkarken, greft hacminin korunduğu, gingival konturun doğal görünüm kazandığı ve yumuşak doku renginin çevre dokularla uyum gösterdiği izlendi. Elde edilen estetik sonuç hem hasta hem de klinisyen açısından tatmin edici bulundu. Klinik ve estetik kazanımların bir yıllık takipte de korunduğu görüldü.







3.TARTIŞMA

Kök örtme cerrahilerinde başarılı bir sonuç, açığa çıkmış kök yüzeyinin ne ölçüde örtüldüğünün ötesinde, kazanılan yumuşak dokunun uzun dönemde korunması ve hastanın estetik ve fonksiyonel beklentilerinin karşılanmasıyla ilişkilidir. Uygun cerrahi yaklaşımın seçiminde çekilmenin klinik özellikleri, periodontal fenotip ve keratinize doku miktarı hasta beklentileriyle birlikte ele alınmalı; tekniğin öngörülebilirliği ve klinisyenin deneyimi de göz önünde bulundurulmalıdır (Imber & Kasaj, 2021; Chambrone & Tatakis, 2015). Sunulan olguda tünel tekniği ile SCTG'nin birlikte tercih edilmesinde, kök yüzeyinin örtülmesinin yanı sıra yumuşak doku kalınlığının artırılması ve çevre dokularla uyumlu bir estetik görünüm elde edilmesi hedeflenmiştir.

Sunulan olguda, ince-orta periodontal fenotipe sahip RT1 diş eti çekilmesinin tedavisinde tünel tekniği SCTG, Emdogain® ve PeriAcryl® ile birlikte uygulanmıştır. Altıncı ay kontrolünde iyileşmenin komplikasyonsuz seyrettiği, kök yüzeyinin büyük ölçüde örtüldüğü ve dentin hassasiyetinin tamamen ortadan kalktığı görülmüş; yumuşak dokunun renk ve kontur açısından çevre dokularla uyumu estetik olarak tatmin edici bulunmuştur. Bu klinik seyir, uygun olgu seçimi ve cerrahi tekniğin önemini desteklemekle birlikte, Emdogain® ve PeriAcryl® gibi yardımcı uygulamaların elde edilen sonuç üzerindeki bağımsız katkısını ortaya koymak için yeterli değildir.

SCTG, kök örtme cerrahilerinde öngörülebilir klinik sonuçları ve yumuşak doku özellikleri üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle periodontal plastik cerrahinin temel yaklaşımlarından biridir. Kök örtme başarısının yanı sıra doku kalınlığını ve keratinize doku miktarını artırabilmesi, elde edilen sonucun uzun dönemde korunması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle ince periodontal fenotip varlığında SCTG kullanımı, yumuşak doku hacminin artırılması ve daha stabil bir gingival kontur elde edilmesi açısından önem kazanmaktadır (Stefanini et al., 2018). Sunulan olguda da ince-orta periodontal fenotip göz önünde bulundurularak SCTG tercih edilmiş; takip süresince greft hacminin korunduğu ve gingival konturun doğal görünümünü sürdürdüğü izlenmiştir. Bu klinik bulgular, SCTG'nin yumuşak doku kalınlığı ve fenotip üzerinde sağladığı kazanımları bildiren literatürle benzerlik göstermektedir.

Minimal invaziv periodontal plastik cerrahi yaklaşımları arasında yer alan tünel tekniği, papiller yapının korunmasına ve greftin vaskülarize bir doku yatağı içerisinde örtülmesine olanak tanıyan tasarımıyla kök örtme cerrahilerinde önemli bir seçenek hâline gelmiştir. Vertikal gevşetme insizyonlarına gereksinim duyulmaması ve cerrahi travmanın sınırlandırılması, tekniğin yara iyileşmesi ve estetik uyum açısından öne çıkan özellikleridir (Imber & Kasaj, 2021; Tavelli, Barootchi, et al., 2018). Tavelli, Barootchi, et al. (2018) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, tünel tekniğiyle lokalize ve çoklu diş eti çekilmelerinde başarılı kök örtme sonuçları elde edildiği ve özellikle Miller Sınıf I ve II defektlerde tekniğin öngörülebilir bir tedavi seçeneği olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, aynı analizde benzer greft materyalleri kullanıldığında koronal ilerletilmiş flebin bazı karşılaştırmalarda tam kök örtmesi açısından tünel tekniğine üstünlük gösterebildiği de belirtilmiştir. Bu nedenle tünel tekniğinin diğer kök örtme yaklaşımlarına mutlak bir üstünlüğünden söz etmek yerine, uygun olgularda doku bütünlüğünü koruyan alternatif bir cerrahi yaklaşım olarak değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

Mayta-Tovalino et al. (2023) tarafından gerçekleştirilen meta-analizde, çoklu diş eti çekilmelerinin tedavisinde tünel tekniği ile koronal ilerletilmiş flep arasında kök örtme miktarı, tam kök örtmesi, klinik ataşman düzeyi, sondalama derinliği ve keratinize doku genişliği bakımından anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Toledano-Osorio et al. (2022) da her iki yaklaşımın ortalama kök örtme sonuçlarının genel olarak benzer olduğunu, ancak tekli diş eti çekilmelerinde koronal ilerletilmiş flep lehine sınırlı bir avantaj bulunabileceğini bildirmiştir. Bu sonuçlar, cerrahi teknikler arasındaki farklılıkların her klinik durumda aynı ölçüde belirleyici olmayabileceğine ve tedavi yaklaşımının çekilmenin özellikleri ile olguya özgü koşullar doğrultusunda seçilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Sunulan olguda papiller bütünlüğün korunması ve tünelin gerilimsiz biçimde koronal yönde konumlandırılması, greft stabilizasyonu için uygun bir cerrahi ortam sağlamış; altıncı ayda kök yüzeyinin büyük ölçüde örtüldüğü ve yumuşak doku uyumunun korunduğu görülmüştür.

Emdogain®, periodontal plastik cerrahide yara iyileşmesini ve rejeneratif süreçleri desteklemek amacıyla kullanılan biyolojik ajanlardan biridir. Deneysel ve klinik çalışmalar, Emdogain®'in periodontal ligament hücrelerinin proliferasyonu, fibroblast aktivitesi ve anjiyogenez gibi yara iyileşmesinde rol alan biyolojik süreçler üzerinde olumlu etkiler gösterebildiğini ortaya koymaktadır (Miron et al., 2016). Bununla birlikte, bu biyolojik etkilerin kök örtme cerrahilerindeki tüm klinik sonuçlara doğrudan ve tutarlı biçimde yansıdığına ilişkin kanıtlar aynı ölçüde güçlü değildir. Discepoli et al. (2019), Emdogain®'in kök örtme işlemlerine eklenmesinin bazı klinik parametrelerde avantaj sağlayabileceğini bildirmiş; ancak konvansiyonel periodontal plastik cerrahi yaklaşımlarına karşı belirgin ve tutarlı bir üstünlüğün ortaya konmadığını göstermiştir. Bu nedenle sunulan olguda gözlenen kök örtülmesi, dentin hassasiyetinin ortadan kalkması ve estetik iyileşmenin yalnızca Emdogain® kullanımına atfedilmesi mümkün değildir. Elde edilen klinik sonuç; olgu özellikleri, cerrahi yaklaşım, greft stabilizasyonu ve kök yüzeyi hazırlığı gibi birden fazla unsurun birlikte bulunduğu bir tedavi süreci içinde değerlendirilmelidir. Emdogain®'in bu sonuca bağımsız katkısının belirlenebilmesi ise kontrollü klinik veriler gerektirir.

SCTG uygulamalarında palatinal donör sahada gelişen ağrı, kanama ve yara bakımına ilişkin güçlükler postoperatif hasta deneyimini etkileyebilmektedir. Bu nedenle donör saha morbiditesini azaltmak ve iyileşme sürecini kolaylaştırmak amacıyla farklı yara örtüleri ve biyomateryallerden yararlanılmaktadır (Tavelli, Asa'ad, et al., 2018). Sunulan olguda palatinal donör sahaya Spongostan® ile birlikte PeriAcryl® uygulanmış, postoperatif dönemde kanama

veya yara iyileşmesine ilişkin herhangi bir komplikasyonla karşılaşılmamıştır. Bununla birlikte, PeriAcryl®'in donör saha iyileşmesine bağımsız katkısını bu klinik gözlem üzerinden belirlemek mümkün değildir. Mevcut kanıtların sınırlı olması da bu materyalin klinik etkilerinin kontrollü çalışmalarla değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu olguda tünel tekniği ve SCTG'nin Emdogain® ve PeriAcryl® ile birlikte uygulanmasını takiben kök yüzeyinin büyük ölçüde örtülmesi, dentin hassasiyetinin ortadan kalkması ve çevre dokularla uyumlu estetik bir görünüm elde edilmiştir. Klinik ve estetik kazanımların bir yıllık takipte korunması, uygulanan yaklaşımın bu olgu açısından olumlu bir seyir gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, tek bir olguya dayanan bu gözlemden söz konusu kombinasyonun etkinliği veya bileşenlerin tedavi sonucuna bağımsız katkıları hakkında genellenebilir bir çıkarım yapılamaz. Bu yaklaşımın klinik yararının ve uzun dönem öngörülebilirliğinin değerlendirilebilmesi için daha geniş örneklemli, karşılaştırmalı ve uzun süreli takip içeren kontrollü klinik çalışmalara gereksinim vardır.

4.SONUÇ

Sunulan olguda, RT1 diş eti çekilmesinin tedavisinde tünel tekniği ve SCTG'nin Emdogain® ve PeriAcryl® ile birlikte uygulanmasının ardından kök yüzeyinin büyük ölçüde örtüldüğü, dentin hassasiyetinin tamamen ortadan kalktığı ve yumuşak doku iyileşmesinin komplikasyonsuz seyrettiği gözlenmiştir. Elde edilen klinik ve estetik kazanımlar bir yıllık takipte de korunmuştur.

Bu klinik seyir, tünel tekniği ve SCTG'nin uygun olgu seçimi ve cerrahi planlama ile başarılı bir kök örtme yaklaşımı sunabileceğini desteklemektedir. Bununla birlikte, tek bir olgu üzerinden Emdogain® ve PeriAcryl®'in tedavi sonucuna bağımsız katkısını belirlemek veya kullanılan kombinasyonun etkinliği hakkında genellenebilir bir sonuca ulaşmak mümkün değildir. Bu yaklaşımın klinik yararını ve uzun dönem öngörülebilirliğini ortaya koyabilmek için daha geniş örneklemli, karşılaştırmalı ve uzun süreli takip içeren kontrollü klinik çalışmalara gereksinim vardır.

5. KAYNAKÇA

Akhter, F. (2024). Evaluation of the biocompatibility of periodontal dressings: An in vitro study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16(Suppl 3), S2500–S2502. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_335_24

Cairo, F., Nieri, M., Cincinelli, S., Mervelt, J., & Pagliaro, U. (2011). The interproximal clinical attachment level to classify gingival recessions and predict root coverage outcomes: An explorative and reliability study. *Journal of Clinical Periodontology*, 38(7), 661–666. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01732.x>

Chambrone, L., & Tatakis, D. N. (2015). Periodontal soft tissue root coverage procedures: A systematic review from the AAP Regeneration Workshop. *Journal of Periodontology*, 86(2 Suppl), S8–S51. <https://doi.org/10.1902/jop.2015.130674>

Cortellini, P., & Bissada, N. F. (2018). Mucogingival conditions in the natural dentition: Narrative review, case definitions, and diagnostic considerations. *Journal of Periodontology*, 89(Suppl 1), S204–S213. <https://doi.org/10.1002/JPER.16-0671>

Discepoli, N., Mirra, R., & Ferrari, M. (2019). Efficacy of enamel derivatives to improve keratinized tissue as adjunct to coverage of gingival recessions: A systematic review and meta-analysis. *Materials*, 12(17), 2790. <https://doi.org/10.3390/ma12172790>

Imber, J. C., & Kasaj, A. (2021). Treatment of gingival recession: When and how? *International Dental Journal*, 71(3), 178–187. <https://doi.org/10.1111/idj.12617>

- Mayta-Tovalino, F., Barboza, J. J., Pasupuleti, V., & Hernandez, A. V. (2023). Efficacy of tunnel technique (TUN) versus coronally advanced flap (CAF) in the management of multiple gingival recession defects: A meta-analysis. *International Journal of Dentistry*, 2023, 8671484. <https://doi.org/10.1155/2023/8671484>
- Mercado, F., Loch, C., Mustafa, A., Lee, E., & Hecker, M. (2026). Three decades of enamel matrix derivative: From dental innovation to extra-oral applications. *International Journal of Dentistry*, 2026, 6556335. <https://doi.org/10.1155/ijod/6556335>
- Miron, R. J., Sculean, A., Cochran, D. L., Froum, S., Zucchelli, G., Nemcovsky, C., Donos, N., Lyngstadaas, S. P., Deschner, J., Dard, M., Stavropoulos, A., Zhang, Y., Trombelli, L., Kasaj, A., Shirakata, Y., Cortellini, P., Tonetti, M., Rasperini, G., Jepsen, S., & Bosshardt, D. D. (2016). Twenty years of enamel matrix derivative: The past, the present and the future. *Journal of Clinical Periodontology*, 43(8), 668–683. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12546>
- Sculean, A., Schwarz, F., Becker, J., & Brex, M. (2007). The application of an enamel matrix protein derivative (Emdogain) in regenerative periodontal therapy: A review. *Medical Principles and Practice*, 16(3), 167–180. <https://doi.org/10.1159/000100386>
- Stefanini, M., Marzadori, M., Aroca, S., Felice, P., Sangiorgi, M., & Zucchelli, G. (2018). Decision making in root-coverage procedures for the esthetic outcome. *Periodontology* 2000, 77(1), 54–64. <https://doi.org/10.1111/prd.12205>
- Tavelli, L., Asa'ad, F., Acunzo, R., Pagni, G., Consonni, D., & Rasperini, G. (2018). Minimizing patient morbidity following palatal gingival harvesting: A randomized controlled clinical study. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 38(6), e127–e134. <https://doi.org/10.11607/prd.3581>
- Tavelli, L., Barootchi, S., Nguyen, T. V. N., Tattan, M., Ravidà, A., & Wang, H. L. (2018). Efficacy of tunnel technique in the treatment of localized and multiple gingival recessions: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Periodontology*, 89(9), 1075–1090. <https://doi.org/10.1002/JPER.18-0066>
- Toledano-Osorio, M., Muñoz-Soto, E., Toledano, M., Vallecillo-Rivas, M., Vallecillo, C., Ramos-García, P., & Osorio, R. (2022). Treating gingival recessions using coronally advanced flap or tunnel techniques with autografts or polymeric substitutes: A systematic review and meta-analysis. *Polymers*, 14(7), 1453. <https://doi.org/10.3390/polym14071453>
- Yadav, A. P., Kulloli, A., Shetty, S., Ligade, S. S., Martande, S. S., & Gholkar, M. J. (2018). Sub-epithelial connective tissue graft for the management of Miller's class I and class II isolated gingival recession defect: A systematic review of the factors influencing the outcome. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 9(3), e12325. <https://doi.org/10.1111/jicd.12325>

METEOROLOJİK PARAMETRELER KULLANILARAK HAVA DURUMU SINIFLANDIRMASI: TOPLULUK ÖĞRENME MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Dr. Öğretim Üyesi Feyyaz ALPSALAZ

Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial
Intelligence and Machine Learning, 05100 Center, Amasya

ORCID ID: 0000-0002-7695-6426

Dr. Öğretim Üyesi Hasan UZEL

Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial
Intelligence and Machine Learning, 05100 Center, Amasya

ORCID ID: 0000-0002-8238-2588

Dr. Öğretim Üyesi Bekir Emre ALTUN

Amasya University, Vocational School of Technical Sciences, Department of electricity and
Energy, 05100 Center, Amasya

ORCID ID: 0000-0002-1176-0035

ÖZET

Hava durumu sınıflandırması; çevresel izleme, yenilenebilir enerji yönetimi, ulaşım ve afet önleme gibi birçok uygulama alanı için kritik öneme sahiptir. Makine öğrenmesi alanındaki son gelişmeler, büyük ölçekli meteorolojik veri kümelerinin etkin bir şekilde analiz edilmesine ve hava durumu sınıflandırma performansının artırılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmada, meteorolojik parametreler kullanılarak hava durumu sınıflandırması için Logistic Regression, Random Forest, XGBoost ve LightGBM olmak üzere dört farklı makine öğrenmesi algoritmasının performansı değerlendirilmiştir. Atmosferik basınç, güneş radyasyonu, sıcaklıkla ilişkili değişkenler, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünü içeren toplam 533.312 gözlemden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi %80 eğitim ve %20 test olacak şekilde ayrılmış ve modellerin performansı Accuracy, Precision, Recall, F1-Score ve ROC-AUC ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, Random Forest algoritmasının %93,53 doğruluk, %93,40 F1-Score ve %99,77 ROC-AUC değeri ile en yüksek performansı elde ettiğini göstermiştir. Özellik önem analizi sonuçları, rüzgâr hızı ve küresel güneş radyasyonu değişkenlerinin hava durumu sınıflandırmasını en fazla etkileyen parametreler olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, topluluk öğrenme tabanlı makine öğrenmesi yöntemlerinin büyük ölçekli hava durumu sınıflandırma problemlerinde güvenilir ve başarılı sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hava Durumu Sınıflandırması, Makine Öğrenmesi, Random Forest, XGBoost, LightGBM, Meteorolojik Veri

WEATHER CLASSIFICATION BASED ON METEOROLOGICAL PARAMETERS: A COMPARATIVE STUDY OF ENSEMBLE LEARNING

ABSTRACT

Accurate weather classification is essential for environmental monitoring, renewable energy management, transportation, and disaster prevention. Recent advances in machine learning have enabled effective analysis of large-scale meteorological datasets and improved weather classification performance. This study evaluates the effectiveness of four machine learning algorithms, namely Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and LightGBM, for

weather condition classification using meteorological parameters. A dataset containing 533,312 observations and seven meteorological features, including atmospheric pressure, solar radiation, temperature-related variables, wind speed, and wind direction, was utilized. The dataset was divided into training and testing subsets using an 80:20 ratio, and model performance was assessed using Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and ROC-AUC metrics. Experimental results showed that Random Forest achieved the best performance, obtaining an accuracy of 93.53%, an F1-Score of 93.40%, and a ROC-AUC value of 99.77%. Feature importance analysis revealed that wind speed and global radiation were the most influential variables affecting weather classification. The findings demonstrate that ensemble-based machine learning methods provide reliable and accurate solutions for large-scale weather classification tasks and can support various meteorological decision-making applications.

Keywords: Weather Classification, Machine Learning, Random Forest, XGBoost, LightGBM, Meteorological Data

1. INTRODUCTION

Weather conditions have a significant impact on numerous sectors, including agriculture, transportation, renewable energy generation, aviation, environmental monitoring, and disaster management. Accurate identification and classification of weather conditions are therefore essential for improving operational planning and supporting decision-making processes. The rapid development of sensing technologies and meteorological monitoring systems has resulted in the generation of large volumes of weather-related data, creating new opportunities for the application of artificial intelligence and machine learning techniques.

Traditional weather analysis methods often rely on statistical approaches and numerical weather prediction models. Although these methods have been successfully employed for decades, they may encounter difficulties when modeling complex nonlinear relationships among meteorological variables. In contrast, machine learning algorithms can automatically learn hidden patterns from large datasets and provide effective solutions for classification and prediction tasks. Consequently, machine learning has become increasingly popular in weather forecasting, climate analysis, rainfall prediction, and weather classification applications (Ben Bouallègue et al., 2024; Price et al., 2025; Rasp & Lerch, 2018).

Various machine learning techniques have been investigated in the literature for meteorological data analysis. Decision tree-based methods, particularly Random Forest (Breiman, 2001), have gained considerable attention because of their robustness, interpretability, and resistance to overfitting. More recently, ensemble learning approaches such as XGBoost (Chen & Guestrin, 2016) and LightGBM (Ke et al., 2017) have demonstrated superior predictive performance in many environmental and meteorological applications by combining multiple weak learners into a stronger predictive framework.

Previous studies generally indicate that ensemble-based algorithms outperform traditional linear models when handling complex weather datasets (Zhang et al., 2025; Allen et al., 2025). However, model performance is highly dependent on dataset characteristics, feature distributions, and environmental conditions. Furthermore, comparative analyses involving large-scale meteorological datasets remain relatively limited, particularly for multi-class weather classification problems. Therefore, further investigation is required to identify the most effective machine learning algorithms for large and diverse weather datasets.

Motivated by these observations, this study investigates the performance of four machine learning algorithms, namely Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and LightGBM,

for weather classification using a large-scale meteorological dataset obtained from the Kaggle platform (Vaishya, 2025). The dataset contains 533,312 observations and includes atmospheric pressure, solar radiation, temperature-related variables, wind speed, and wind direction measurements. Model performance is evaluated using Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and ROC-AUC metrics.

The main contributions of this study can be summarized as follows:

- A large-scale meteorological dataset containing more than 533,000 observations is utilized for weather classification.
- Four widely used machine learning algorithms are comparatively evaluated under identical experimental conditions.
- Feature importance analysis is performed to identify the most influential meteorological variables affecting weather classification.
- Correlation analysis is conducted to investigate relationships among meteorological variables and target weather classes.
- The effectiveness of ensemble learning approaches for weather classification is comprehensively assessed.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents the dataset description and preprocessing procedures. Section 3 introduces the machine learning methodologies employed in this study. Section 4 discusses the experimental results and findings. Finally, Section 5 concludes the paper and outlines future research directions.

2. DATASET DESCRIPTION AND PREPROCESSING

2.1. Dataset description

The dataset used in this study was obtained from the Kaggle platform and consists of merged weather observations collected from multiple cities (Vaishya, 2025). It was designed for machine learning applications related to weather forecasting, renewable energy prediction, environmental monitoring, and meteorological data analysis.

The dataset contains 533,312 observations, seven meteorological features, and four target classes. The input variables include atmospheric pressure, global radiation, mean temperature, minimum temperature, maximum temperature, wind speed, and wind direction. The target variable, namely `normalized_label`, represents the weather class used for the classification task. An examination of the dataset revealed no missing values, making it suitable for direct use in machine learning applications without extensive data cleaning procedures.

2.2. Class distribution analysis

Understanding the distribution of target classes is important for evaluating the suitability of machine learning algorithms and identifying potential class imbalance issues. The dataset contains four weather classes, with Class 0 representing approximately 44.86% of all observations, followed by Class 1 (29.20%), Class 2 (16.41%), and Class 3 (9.53%).

The distribution of weather classes is illustrated in Figure 1.

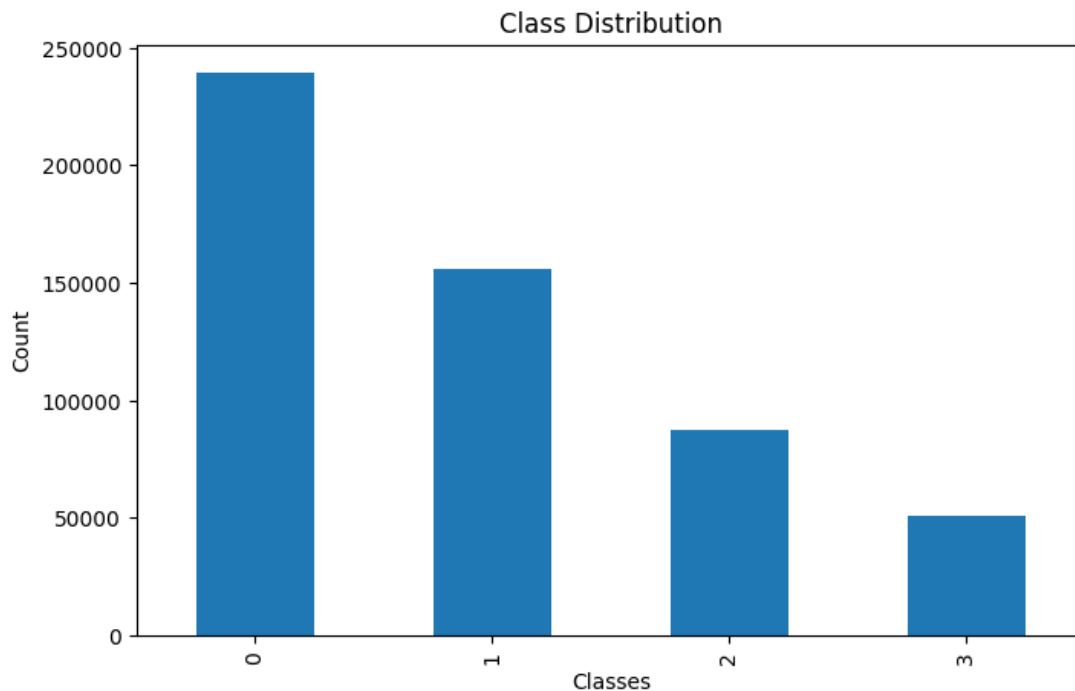


Figure 1. Class Distribution of the Normalized Weather Labels

Although the dataset exhibits moderate class imbalance, each class contains a sufficiently large number of observations to support reliable model training and evaluation. Since all classes include a substantial number of samples, the imbalance was not considered severe enough to require additional resampling techniques.

2.3. Data preprocessing

The dataset was initially inspected for missing and inconsistent records. Since no missing values were detected, no imputation or record removal procedures were applied. Subsequently, the dataset was divided into training and testing subsets using an 80:20 ratio. Stratified sampling was employed to preserve the original class distribution during the splitting process.

Feature standardization was applied to the Logistic Regression model because of its sensitivity to variable scales. In contrast, Random Forest, XGBoost, and LightGBM were trained using the original feature values, as tree-based algorithms are generally unaffected by feature scaling.

2.4. Correlation analysis

To investigate the relationships among meteorological variables, a correlation analysis was performed. The resulting correlation matrix is presented in Figure 2

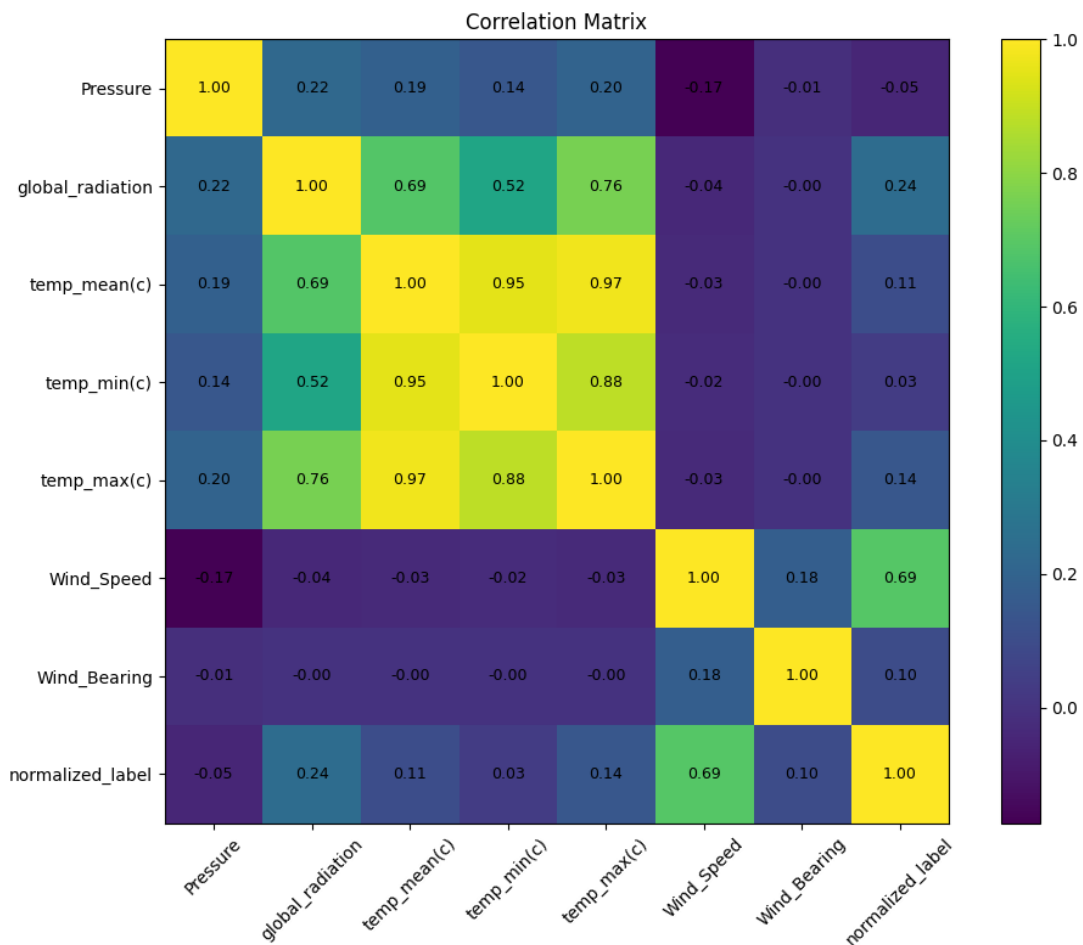


Figure 2. Correlation Matrix of Meteorological Variables and the Target Class Label

The analysis reveals strong positive correlations among temperature-related variables. In particular, the correlation coefficients between temp_mean and temp_max (0.97) and between temp_mean and temp_min (0.95) indicate that these variables contain highly similar information. Furthermore, wind speed exhibits the strongest relationship with the target class label, highlighting its importance in weather classification. These observations provide useful insights into the structure of the dataset and support the feature importance analysis discussed in the experimental results section.

3. METHODOLOGY

This study investigates the effectiveness of machine learning algorithms for weather classification using meteorological variables. Four classification models, namely Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and LightGBM, were implemented and evaluated under identical experimental conditions.

The input features consist of atmospheric pressure, global radiation, mean temperature, minimum temperature, maximum temperature, wind speed, and wind direction measurements. The target variable is the normalized weather class label (normalized_label). The dataset was divided into training and testing subsets using an 80:20 ratio, where the training set was used for model development and the testing set was reserved for performance evaluation.

All models were implemented using their default settings. For the ensemble learning models (Random Forest, XGBoost, and LightGBM), the number of estimators was set to 200 to ensure a fair comparison among the algorithms.

3.1. Logistic regression

Logistic Regression is a widely used statistical classification algorithm that estimates the probability of class membership based on input variables. Due to its simplicity, interpretability, and low computational complexity, it was employed as a baseline model in this study (Géron, 2022).

3.2. Random forest

Random Forest is an ensemble learning method that combines multiple decision trees to improve classification performance (Breiman, 2001). By aggregating the predictions of individual trees through majority voting, Random Forest effectively reduces overfitting and captures nonlinear relationships among meteorological variables.

3.3. XGBoost

XGBoost is a gradient boosting algorithm that sequentially constructs decision trees to minimize prediction errors (Chen & Guestrin, 2016). Its regularization mechanisms and optimized learning strategy enable high predictive performance and robust generalization capabilities.

3.4. LightGBM

LightGBM is an efficient gradient boosting framework designed for large-scale datasets (Ke et al., 2017). By employing histogram-based learning and leaf-wise tree growth, LightGBM provides fast training and competitive predictive accuracy while maintaining low computational cost.

3.5. Performance evaluation metrics

The performance of the machine learning models was assessed using Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and ROC-AUC metrics. Accuracy measures the overall classification success, while Precision and Recall evaluate the correctness and completeness of predictions. The F1-Score provides a balanced assessment of Precision and Recall, whereas ROC-AUC measures the ability of a model to distinguish among different classes.

These evaluation metrics provide a comprehensive assessment of classification effectiveness and allow objective comparisons among the investigated machine learning algorithms.

4. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the classification results obtained from the investigated machine learning algorithms and discusses their effectiveness in weather classification. The performance of Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and LightGBM was evaluated using Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and ROC-AUC metrics.

4.1. Model performance comparison

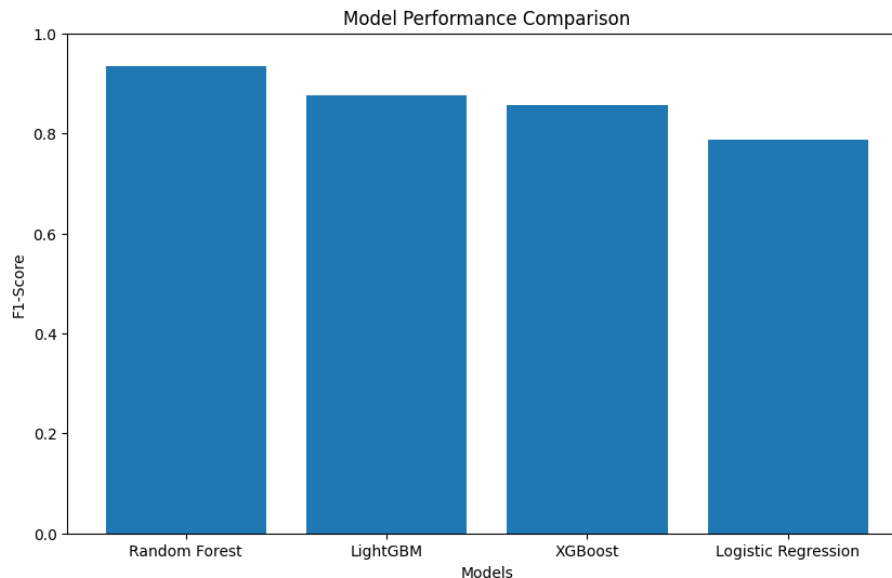
The classification results of all investigated models are summarized in Table 1.

Logistic Regression is a widely used statistical classification algorithm that estimates the probability of class membership based on input variables. Due to its simplicity, interpretability, and low computational complexity, it was employed as a baseline model in this study (Géron, 2022).

Table 1. Model Performance Comparison

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	ROC-AUC
Random Forest	0.935	0.941	0.935	0.934	0.998
LightGBM	0.880	0.884	0.880	0.877	0.983
XGBoost	0.859	0.863	0.859	0.856	0.977
Logistic Regression	0.790	0.788	0.790	0.787	0.946

To provide a visual comparison of model performance, Figure 3 illustrates the weighted F1-score values achieved by each algorithm.


Figure 3. Performance Comparison of Machine Learning Models Based on F1-Score

The results indicate that ensemble learning algorithms consistently outperform the traditional Logistic Regression model. Among all evaluated methods, Random Forest achieved the highest classification performance with an accuracy of 93.53%, an F1-score of 93.40%, and a ROC-AUC value of 99.77%. LightGBM and XGBoost also produced competitive results, achieving F1-scores of 87.69% and 85.59%, respectively. In contrast, Logistic Regression obtained the lowest performance with an F1-score of 78.71%. Random Forest outperformed XGBoost and LightGBM by approximately 5–8 percentage points in terms of F1-score, highlighting its superior capability in modeling complex meteorological patterns.

These findings suggest that nonlinear relationships among meteorological variables are better captured by ensemble-based approaches than by linear classification models. The superior performance of Random Forest demonstrates its capability to effectively model complex weather patterns and classify atmospheric conditions with high reliability.

4.2. Confusion matrix analysis

To further analyze classification performance, the confusion matrix of the best-performing model, namely Random Forest, was examined. The confusion matrix is presented in Figure 4.

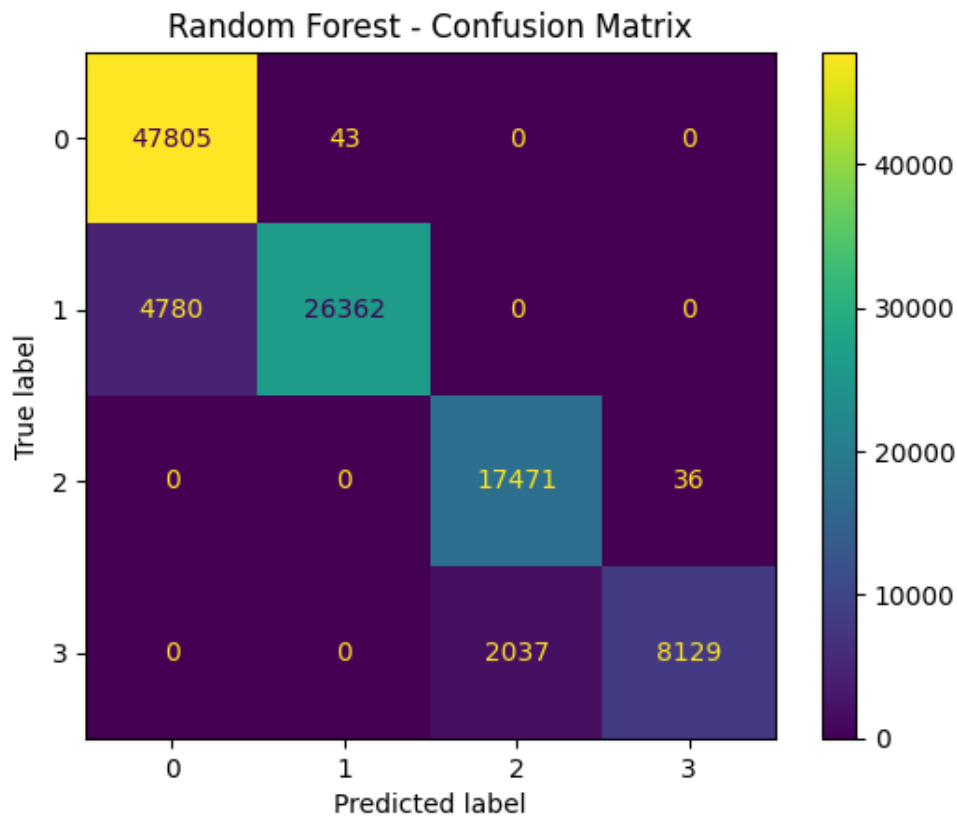


Figure 4. Confusion Matrix of the Random Forest Classifier

The results reveal that Random Forest successfully classified the majority of observations across all weather classes. Class 0 and Class 2 achieved particularly high classification accuracy, whereas a limited number of misclassifications occurred between neighboring classes. Most classification errors were observed between Classes 0 and 1, and between Classes 2 and 3, indicating that these weather categories share similar meteorological characteristics. Despite these minor classification ambiguities, the overall confusion matrix confirms the robustness and reliability of the Random Forest model for large-scale weather classification tasks.

4.3. Feature importance analysis

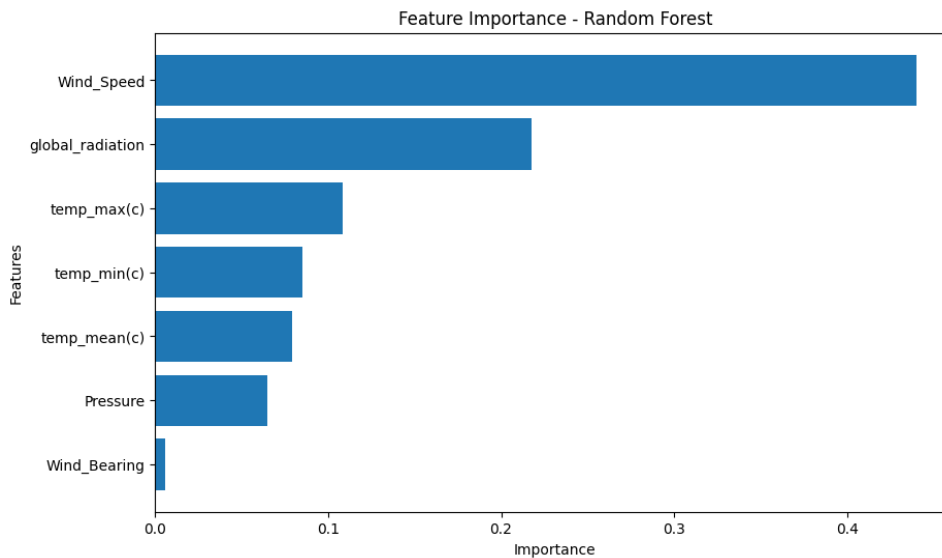
To identify the most influential meteorological variables affecting weather classification, feature importance analysis was performed using the Random Forest model. The obtained results are summarized in Table 2.

To further analyze classification performance, the confusion matrix of the best-performing model, namely Random Forest, was examined. The confusion matrix is presented in Figure 4.

Table 2. Feature Importance Results

Feature	Importance Value
Wind_Speed	0.440
global_radiation	0.217
temp_max(c)	0.108
temp_min(c)	0.085
temp_mean(c)	0.079
Pressure	0.065
Wind_Bearing	0.006

The graphical representation of feature importance values is provided in Figure 5.


Figure 5. Feature Importance Ranking Obtained from the Random Forest Model

The analysis indicates that Wind_Speed is the most important feature, accounting for approximately 44% of the total importance. The second most influential variable is global_radiation, contributing approximately 21.7% of the overall importance. Temperature-related variables also provide meaningful contributions to the classification process, whereas Wind_Bearing exhibits only a minor influence.

These findings suggest that weather classification in the studied dataset is primarily driven by wind dynamics and solar radiation characteristics. In particular, the results indicate that wind dynamics play a dominant role in distinguishing weather classes within the investigated dataset. The results are also consistent with the correlation analysis presented in Section 2, where wind speed exhibited the strongest relationship with the target class label.

Overall, the experimental results demonstrate that ensemble learning algorithms provide highly effective solutions for weather classification. In particular, Random Forest achieved superior predictive performance and successfully identified the most relevant meteorological variables influencing weather conditions.

5. CONCLUSION AND FUTURE WORK

This study investigated the performance of four machine learning algorithms, namely Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, and LightGBM, for weather classification using a large-

scale meteorological dataset obtained from the Kaggle platform. The dataset contained 533,312 observations and included atmospheric pressure, solar radiation, temperature-related variables, wind speed, and wind direction measurements.

Experimental results demonstrated that ensemble learning approaches achieved superior classification performance compared to the traditional Logistic Regression model. Among all evaluated methods, Random Forest produced the best results with an accuracy of 93.53%, an F1-score of 93.40%, and a ROC-AUC value of 99.77%. These findings indicate that Random Forest is highly effective for capturing complex relationships among meteorological variables and accurately classifying weather conditions.

Feature importance analysis revealed that wind speed and global radiation were the most influential variables affecting weather classification. Furthermore, the results confirmed that ensemble learning methods provide reliable and robust solutions for large-scale meteorological datasets.

Future studies may incorporate additional meteorological variables such as humidity, precipitation, and cloud coverage to further improve classification performance. Furthermore, alternative machine learning and deep learning models can be investigated and compared with the algorithms considered in this study. Such approaches may contribute to the development of more accurate and intelligent weather monitoring and forecasting systems.

REFERENCES

- Ben Bouallègue Z, Magnusson L, Bonavita M, Ferro ADT, Fuentes S, Hamill AM, Hagedorn R, Lang M, Prates F. (2024). The rise of data-driven weather forecasting: A first statistical assessment of machine learning-based weather forecasts in an operational context. *Bulletin of the American Meteorological Society* 105(6), E1006–E1024.
- Price I, Sanchez-Gonzalez A, Alet F, et al. (2025). Probabilistic weather forecasting with machine learning. *Nature* 637, 84–90.
- Rasp J, Lerch S. (2018). Neural networks for postprocessing ensemble weather forecasts. *Monthly Weather Review* 146(11), 3885–3900.
- Breiman L. (2001). Random forests. *Machine Learning* 45(1), 5–32.
- Chen T, Guestrin C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Francisco, CA, USA, 785–794.
- Ke G, Meng Q, Finley T, Wang T, Chen W, Ma W, Ye Q, Liu TY. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems* 30.
- Zhang H, et al. (2025). Machine Learning Methods for Weather Forecasting. *Atmosphere* 16(1), Art. no. 82.
- Allen A, Markou S, Tebbutt W, et al. (2025). End-to-end data-driven weather prediction. *Nature* 641, 1172–1179.
- Vaishya J. (2025). Weather Dataset. Kaggle. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/jaydeepvaishya/weather-dataset>. Accessed: Jun. 9, 2026.
- Géron A. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. (2022). O'Reilly Media. Sebastopol, CA, USA. 3rd ed.

MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK SÜPERİLETKEN KRİTİK SICAKLIĞININ TAHMİN EDİLMESİ

Dr. Öğretim Üyesi Hasan UZEL

Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, 05100 Center, Amasya

ORCID ID: 0000-0002-8238-2588

Dr. Öğretim Üyesi Feyyaz ALPSALAZ

Amasya University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, 05100 Center, Amasya

ORCID ID: 0000-0002-7695-6426

Dr. Öğretim Üyesi Bekir Emre ALTUN

Amasya University, Vocational School of Technical Sciences, Department of electricity and Energy, 05100 Center, Amasya

ORCID ID: 0000-0002-1176-0035

ÖZET

Süperiletkenlik, belirli bir kritik sıcaklığın (T_c) altında sıfır elektriksel direnç göstermesiyle karakterize edilen, malzeme bilimi ve yoğun madde fiziğinin temel olgularından biridir. T_c değerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, gelişmiş süperiletken malzemelerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır; ancak deneysel belirleme süreçleri genellikle maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu çalışmada, 81 sayısal özellik içeren 17.000 eğitim ve 4.263 test örneğinden oluşan halka açık bir veri seti kullanılarak süperiletken malzemelerin kritik sıcaklığını tahmin etmek amacıyla makine öğrenmesi yöntemleri uygulanmıştır. Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting ve XGBoost olmak üzere dört farklı makine öğrenmesi algoritması geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Model performansları Ortalama Mutlak Hata (MAE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve Belirlilik Katsayısı (R^2) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, topluluk öğrenmesine dayalı yaklaşımların doğrusal regresyon modeline kıyasla belirgin şekilde daha başarılı olduğunu göstermiştir. Değerlendirilen modeller arasında Random Forest, 9.99 K RMSE değeri ve 0.916 R^2 skoru ile en yüksek performansı sergilemiş ve süperiletken kritik sıcaklık tahmini açısından güçlü bir öngörü yeteneği ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, makine öğrenmesi tekniklerinin malzeme özellikleri ile kritik sıcaklık arasındaki karmaşık ilişkileri etkili bir şekilde modelleyebildiğini ve yeni süperiletken malzemelerin keşif ve tasarım süreçlerini hızlandırmada değerli bir araç sunduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Süperiletkenlik, Kritik Sıcaklık, Makine Öğrenmesi, Random Forest, XGBoost, Malzeme Bilişimi

PREDICTION OF SUPERCONDUCTING CRITICAL TEMPERATURE USING MACHINE LEARNING METHODS

ABSTRACT

Superconductivity is a fundamental phenomenon in materials science and condensed matter physics, characterized by zero electrical resistance below a critical temperature (T_c). Accurate prediction of T_c is essential for the development of advanced superconducting materials; however, experimental determination is often costly and time-consuming. In this study,

machine learning methods were employed to predict the critical temperature of superconducting materials using a publicly available dataset consisting of 17,000 training samples and 4,263 test samples with 81 numerical features. Four machine learning algorithms, namely Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost, were developed and evaluated. Model performance was assessed using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2). The experimental results revealed that ensemble-based approaches significantly outperformed the linear regression model. Among the evaluated models, Random Forest achieved the best performance with an RMSE value of 9.99 K and an R^2 score of 0.916, indicating a strong predictive capability for superconducting critical temperature estimation. The findings demonstrate that machine learning techniques can effectively model the complex relationships between material properties and critical temperature, providing a valuable tool for accelerating the discovery and design of novel superconducting materials.

Keywords: Superconductivity, Critical Temperature, Machine Learning, Random Forest, XGBoost, Materials Informatics

1. INTRODUCTION

1.1 Background

Superconductivity is one of the most remarkable phenomena in condensed matter physics and materials science. A superconducting material exhibits zero electrical resistance and perfect diamagnetism below a characteristic temperature known as the critical temperature (T_c). Since the discovery of superconductivity in 1911, extensive research has been conducted to identify materials with higher critical temperatures and improved practical applicability. Superconducting materials have attracted considerable attention due to their potential applications in power transmission systems, magnetic resonance imaging (MRI), particle accelerators, magnetic levitation transportation systems, and quantum computing technologies. The critical temperature is one of the most important parameters determining the technological and economic feasibility of superconducting materials. Materials with higher T_c values can operate under less demanding cooling conditions, thereby reducing operational costs and facilitating large-scale applications. However, discovering new superconducting materials and experimentally determining their critical temperatures require extensive laboratory investigations, sophisticated equipment, and significant financial resources. Therefore, alternative approaches capable of accelerating the material discovery process are of great interest.

1.2 Related Studies

Recent advances in artificial intelligence and machine learning have provided new opportunities for materials informatics and superconductivity research. Machine learning algorithms can learn complex nonlinear relationships from large datasets and generate accurate predictions without requiring exhaustive experimental investigations (Hastie et al. 2009; Bishop 2006). Previous studies have applied various machine learning techniques to predict superconducting critical temperatures based on compositional and structural descriptors (Stanev et al. 2018; Sizochenko and Hofmann 2021). These studies demonstrated that machine learning models can successfully estimate critical temperatures and provide an efficient alternative to conventional experimental screening procedures (Jung et al. 2024).

1.3 Research Gap

Although numerous studies have investigated superconducting critical temperature prediction using machine learning techniques, comparative evaluations of widely used ensemble learning

algorithms on large-scale superconducting datasets remain limited. In particular, the relative predictive performance of Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost models under a unified experimental framework has not been sufficiently explored. Furthermore, the identification of the most effective machine learning model for accurate T_c prediction remains an open research problem.

1.4 Contributions

Motivated by these challenges, this study investigates the applicability of machine learning methods for predicting the critical temperature of superconducting materials using a publicly available dataset containing 17,000 training samples and 4,263 test samples with 81 numerical features. The main contributions of this study can be summarized as follows:

1. A comprehensive machine learning framework was developed for superconducting critical temperature prediction.
2. Four machine learning algorithms, namely Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost, were comparatively evaluated.
3. Model performances were assessed using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2).
4. The most effective machine learning model for superconducting critical temperature estimation was identified through extensive experimental analysis.
5. The obtained results demonstrate the effectiveness of ensemble learning methods for superconducting materials research and provide a useful reference for future data-driven materials discovery studies.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents the dataset and preprocessing procedures. Section 3 describes the machine learning models employed in this study. Section 4 discusses the experimental results and comparative analyses. Finally, Section 5 concludes the paper and outlines potential directions for future research.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Dataset and Preprocessing

2.1.1. Dataset Description

The dataset utilized in this study was obtained from the Kaggle “Critical Semiconductor Temperature” competition (Kaggle 2026). The original superconductivity dataset and its associated descriptors were introduced by Hamidieh (Hamidieh 2018). The dataset consists of two complementary data sources. The first source contains numerical descriptors representing various properties of superconducting materials, while the second source contains the corresponding chemical compositions of the materials. In this work, the numerical feature dataset was employed for model development and performance evaluation.

The training dataset contains 17,000 samples and 82 attributes, including 81 numerical input features and one target variable. The target variable corresponds to the critical temperature (T_c) of a superconducting material. The test dataset contains 4,263 samples and 81 numerical input features. The prediction task was formulated as a supervised regression problem in which the objective is to estimate the critical temperature based on the available material descriptors.

Table 1 summarizes the general characteristics of the dataset.

Table 1. General Characteristics of the Dataset

Feature	Value
Number of training samples	17000
Number of test samples	4263
Total number of features	82
Number of input features	81
Target variable	Critical Temperature (Tc)
Number of missing values	0
Missing value ratio (%)	0.0
Data type	Numerical
Problem type	Regression

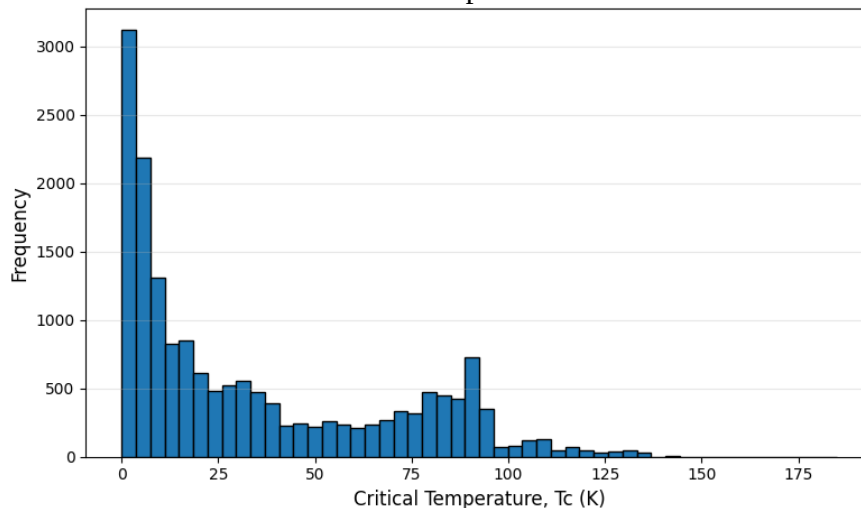
To better understand the distribution of the target variable, several descriptive statistical measures were computed. Table 2 presents the statistical characteristics of the critical temperature values in the dataset.

Table 2. Critical Temperature (Tc) Statistics

Statistic	Value
Minimum	0.0002
Maximum	185.0000
Mean	34.5127
Median	20.0000
Standard Deviation	34.3374

The statistics indicate a wide variation in critical temperature values among the investigated superconducting materials. The observed range extends from nearly zero to 185 K, suggesting substantial diversity within the dataset.

Figure 1 illustrates the distribution of critical temperature values.


Figure 1. Distribution of Critical Temperature (Tc)

The histogram reveals that the dataset exhibits a positively skewed distribution. Most superconducting materials possess relatively low critical temperatures, whereas a smaller number of samples exhibit significantly higher Tc values. This distribution pattern is commonly observed in superconductivity datasets due to the limited availability of high-temperature

superconducting materials.

2.1.2. Data Preprocessing

Prior to model training, the dataset was inspected for missing values and inconsistencies. No missing observations were detected in either the training or test datasets, eliminating the need for data imputation procedures. Since all predictor variables were provided in numerical form, no categorical encoding operations were required.

The dataset was subsequently divided into training and testing subsets using an 80:20 ratio. Specifically, 80% of the available samples were utilized for model training, while the remaining 20% were reserved for performance evaluation. A fixed random seed was employed to ensure reproducibility of the experimental results.

The preprocessing stage was intentionally kept simple in order to preserve the original characteristics of the dataset and enable a fair comparison among the evaluated machine learning algorithms. The prepared dataset was then used to develop and assess the prediction models described in the following section.

2.2. Machine Learning Models and Evaluation Metrics

To predict the critical temperature of superconducting materials, four machine learning algorithms were employed in this study: Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost. These models were selected because they represent both traditional regression techniques and advanced ensemble learning approaches commonly used in predictive analytics.

2.2.1. Linear Regression

Linear Regression (LR) is a statistical method that models the relationship between input variables and the target variable through a linear function. Due to its simplicity and interpretability, it is frequently used as a baseline model in regression studies. However, its predictive capability may be limited when the underlying relationships between variables are highly nonlinear (Hastie et al. 2009).

2.2.2. Random Forest

Random Forest (RF) is an ensemble learning algorithm that combines multiple decision trees to improve predictive performance. The final prediction is obtained by averaging the outputs of individual trees. Random Forest is particularly effective for handling nonlinear relationships and high-dimensional datasets while reducing the risk of overfitting (Breiman 2001).

2.2.3. Gradient Boosting

Gradient Boosting (GB) is an ensemble technique that sequentially constructs decision trees, where each new tree aims to reduce the prediction errors of the previous model. By iteratively minimizing residual errors, Gradient Boosting can achieve high predictive accuracy for complex regression problems (Friedman 2001).

2.2.4. XGBoost

Extreme Gradient Boosting (XGBoost) is an optimized implementation of the Gradient Boosting algorithm. It incorporates regularization mechanisms, efficient tree construction strategies, and parallel computation capabilities. These characteristics enable XGBoost to provide strong predictive performance while maintaining computational efficiency (Chen and Guestrin 2016).

2.2.5. Evaluation Metrics

The predictive performance of the developed models was evaluated using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2).

The Mean Absolute Error (MAE) measures the average absolute difference between the actual and predicted values:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

The Root Mean Square Error (RMSE) evaluates the magnitude of prediction errors and penalizes larger deviations more heavily:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

The coefficient of determination (R^2) indicates the proportion of variance in the target variable explained by the model:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Lower MAE and RMSE values indicate better predictive performance, whereas higher R^2 values represent stronger agreement between the predicted and actual values. The comparative results obtained from these evaluation metrics are presented and discussed in the following section.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Performance Comparison of Machine Learning Models

The predictive performances of the developed machine learning models were evaluated using MAE, RMSE, and R^2 metrics. Table 3 summarizes the obtained results.

Table 3. Performance Comparison of Machine Learning Models

Model	MAE	RMSE	R2
Random Forest	5.516138	9.988884	0.915506
XGBoost	6.091597	10.064061	0.914230
Gradient Boosting	7.351461	11.399661	0.889954
Linear Regression	13.455509	17.789996	0.731996

The results demonstrate significant differences among the evaluated machine learning algorithms. Linear Regression exhibited the weakest performance, achieving an RMSE value of 17.79 K and an R^2 score of 0.732. This result indicates that the relationship between the input features and the critical temperature cannot be adequately represented using a simple linear model.

In contrast, the ensemble learning algorithms achieved considerably better results. Gradient Boosting reduced the prediction error substantially, yielding an RMSE value of 11.40 K and an R^2 score of 0.890. XGBoost further improved the prediction accuracy with an RMSE value of 10.06 K and an R^2 score of 0.914.

Among all evaluated models, Random Forest achieved the best overall performance, obtaining the lowest RMSE value of 9.99 K and the highest R^2 score of 0.916. These results suggest that Random Forest was the most effective algorithm for modeling the complex nonlinear relationships present in the superconducting materials dataset.

The RMSE comparison of the evaluated machine learning models is illustrated in Figure 2.

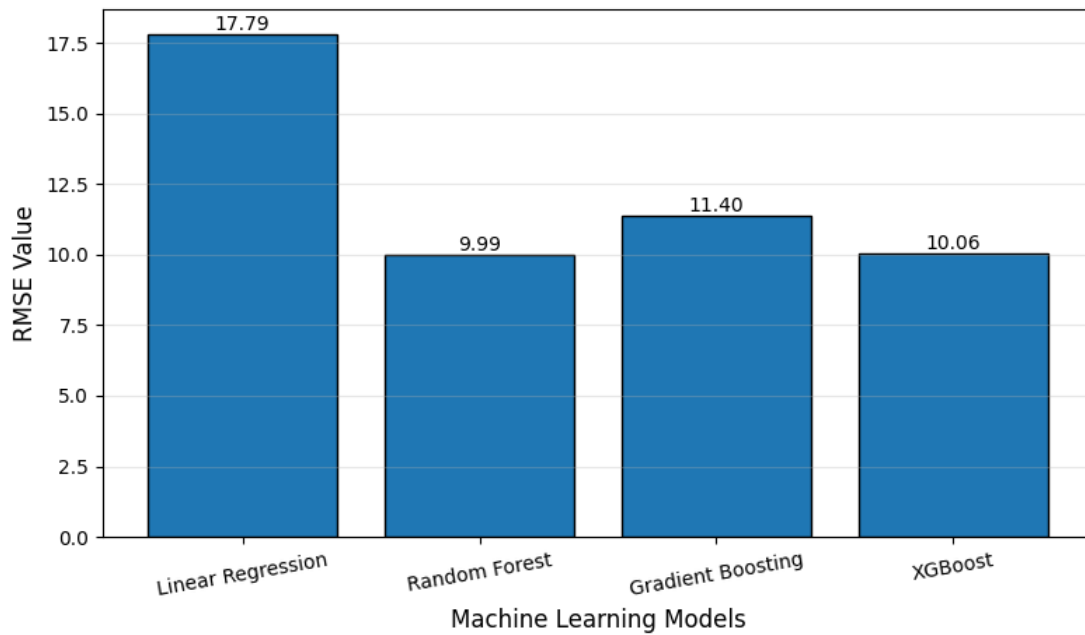


Figure 2. Comparison of RMSE Values of Machine Learning Models

As shown in Figure 2, ensemble-based approaches significantly reduced prediction errors compared with Linear Regression. Random Forest produced the lowest prediction error among all investigated methods.

The R^2 comparison is presented in Figure 3.

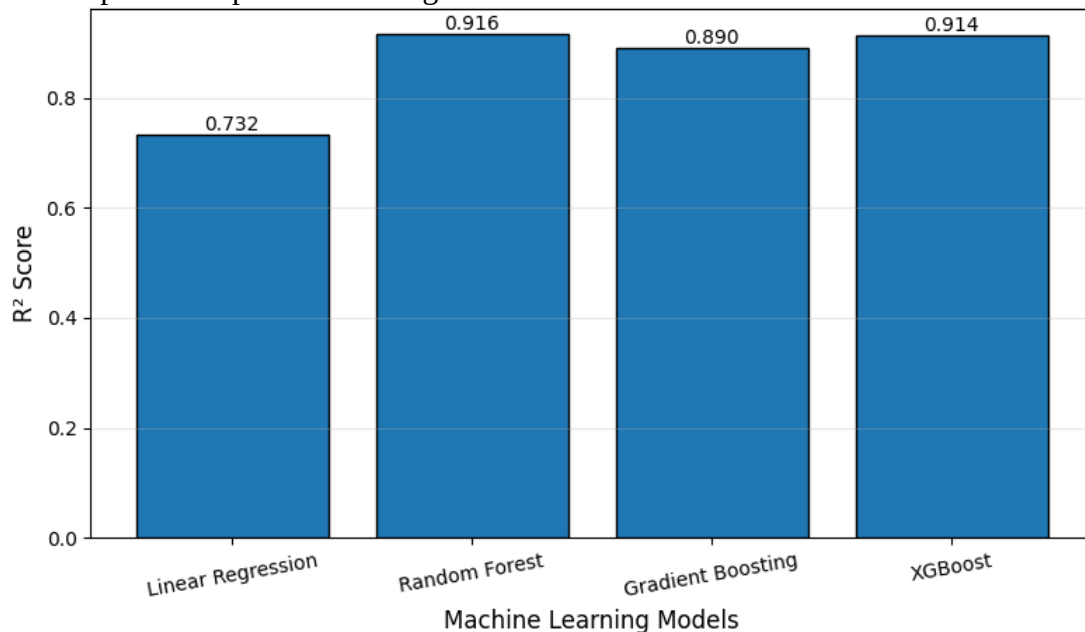


Figure 3. Comparison of R^2 Scores of Machine Learning Models

Figure 3 indicates that Random Forest and XGBoost explained more than 91% of the variance in the critical temperature values. This finding confirms the effectiveness of ensemble learning algorithms for superconducting critical temperature prediction.

3.2. Actual and Predicted Critical Temperature Analysis

To further evaluate the predictive capability of the best-performing model, the relationship

between actual and predicted critical temperature values was analyzed. Figure 4 presents the scatter plot obtained using the Random Forest model.

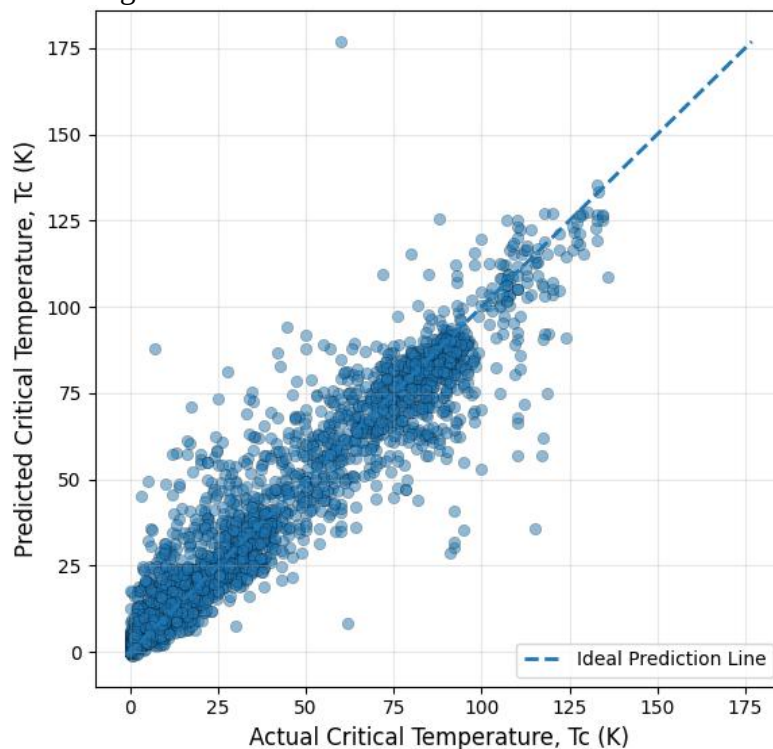


Figure 4. Actual vs Predicted Critical Temperature Values

As illustrated in Figure 4, the majority of the prediction points are concentrated around the ideal prediction line. This observation demonstrates a strong agreement between the actual and predicted critical temperature values. Although small deviations can be observed for certain high-temperature materials, the overall prediction accuracy remains satisfactory.

The close alignment of the data points with the reference line further confirms the robustness and generalization capability of the Random Forest model. The obtained results indicate that machine learning techniques can effectively capture the complex relationships between material descriptors and superconducting critical temperature.

3.3. Analysis of High-Temperature Superconducting Materials

In addition to the predictive performance analysis, the superconducting materials with the highest critical temperature values were investigated. Table 4 lists the materials exhibiting the highest T_c values within the dataset.

Table 4. Superconducting Materials with the Highest Critical Temperature

material	critical_temp
H2S1	185.0
Hg0.7Pb0.3Ba2Ca2Cu3O8	143.0
Hg0.66Pb0.34Ba2Ca1.98Cu2.9O8.4	143.0
Tl0.8Hg0.2Ba2Ca2Cu3O9	137.4
Bi1.6Pb0.4Sb0.1Sr2Ca2Cu2O	136.0
Bi1.8Pb0.2Sb0.1Sr2Ca2Cu2O	136.0
Hg1Ba2Ca2Cu3O8	135.5

Hg _{0.75} Ba _{2.07} Ca _{2.07} Cu _{3.11} O _{8.187}	135.4
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ FO ₈	135.0
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O	135.0
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{8.27}	135.0
Hg _{0.9} Re _{0.1} Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O	135.0
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	135.0
Hg _{0.75} Ba _{2.07} Ca _{2.07} Cu _{3.11} O _{8.15}	134.7
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O	134.5
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	134.5
Hg _{0.75} Ba _{2.07} Ca _{2.07} Cu _{3.11} O _{8.16}	134.2
Tl _{0.5} Hg _{0.5} Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	134.0
Hg ₁ Ba ₂ Ca ₁ Cu ₂ O ₆	134.0
Tl _{0.1} Hg _{0.9} Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	134.0

The analysis revealed that H₂S possesses the highest critical temperature value in the dataset, reaching 185 K. Several other materials containing combinations of mercury, barium, calcium, copper, and oxygen also exhibited remarkably high T_c values. These materials belong to well-known families of high-temperature superconductors that have attracted considerable attention in superconductivity research.

The presence of such materials within the dataset contributes to the wide range of critical temperature values and increases the complexity of the prediction problem. Nevertheless, the proposed machine learning models, particularly Random Forest and XGBoost, successfully captured the underlying patterns and achieved high prediction accuracy across the entire temperature range.

Overall, the experimental results demonstrate that ensemble learning algorithms provide an effective framework for superconducting critical temperature prediction. The superior performance of Random Forest highlights its ability to model nonlinear relationships and complex feature interactions within superconducting materials datasets.

4. CONCLUSIONS

In this study, machine learning techniques were employed to predict the critical temperature of superconducting materials using a publicly available dataset containing 17,000 training samples and 4,263 test samples. Four machine learning algorithms, namely Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost, were developed and comparatively evaluated for the critical temperature prediction task.

The experimental results demonstrated that ensemble learning approaches significantly outperformed the traditional Linear Regression model. Among the investigated methods, Random Forest achieved the best overall performance with an RMSE value of 9.99 K and an R² score of 0.916, indicating its strong capability to model the complex nonlinear relationships between material descriptors and superconducting critical temperature. XGBoost also produced highly competitive results, while Gradient Boosting exhibited satisfactory predictive performance. In contrast, the relatively lower performance of Linear Regression suggests that the prediction problem cannot be adequately represented using a simple linear relationship.

The analysis of actual and predicted values confirmed the robustness of the developed models and demonstrated that machine learning algorithms can effectively estimate critical temperature across a wide range of superconducting materials. Furthermore, the investigation of high-

temperature superconductors revealed the presence of materials exhibiting critical temperatures as high as 185 K, highlighting the complexity and diversity of the dataset.

Overall, the findings indicate that machine learning provides a powerful and efficient framework for superconducting critical temperature prediction and can support data-driven materials discovery processes. Future studies may focus on integrating chemical composition information, deep learning architectures, and explainable artificial intelligence techniques to further improve prediction accuracy and enhance the interpretability of the developed models.

REFERENCES

- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- 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>
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- Hamidieh, K. (2018). A data-driven statistical model for predicting the critical temperature of a superconductor. *Computational Materials Science*, 154, 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2018.07.052>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Jung, S. G., Jung, G., & Cole, J. M. (2024). Machine-learning predictions of critical temperatures from chemical compositions of superconductors. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 64(19), 7349–7375. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.4c01137>
- Kaggle. (n.d.). *Critical semiconductor temperature* [Data set]. Retrieved June 2026, from <https://www.kaggle.com/competitions/critical-semiconductor-temperature>
- Sizochenko, N., & Hofmann, M. (2021). Predictive modeling of critical temperatures in superconducting materials. *Molecules*, 26(1), Article 8. <https://doi.org/10.3390/molecules26010008>
- Stanev, V., Oses, C., Kusne, A. G., Rodriguez, E., Paglione, J., Curtarolo, S., & Takeuchi, I. (2018). Machine learning modeling of superconducting critical temperature. *npj Computational Materials*, 4, Article 29. <https://doi.org/10.1038/s41524-018-0085-8>.

ÇALIŞANLARIN ÖRGÜTSEL ADALET ALGILARI, PSİKOLOJİK SÖZLEŞME İHLALİ VE ÖRGÜTSEL VATANDAŞLIK DAVRANIŞLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

*Bu çalışma yazarların lisans bitirme tezinden üretilmiştir.

Arş.Gör.Ayça Ilgaz

Konya Gıda Ve Tarım Üniversitesi, Sosyal Ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Psikoloji Bölümü

ORCID ID: 0000-0002-6954-4482

Zeynep Erdem

ORCID ID: 0009-0002-7339-578X

Umut Küçükçoban

ORCID ID: 0009-0005-1293-0840

Halil İbrahim Küçüktosun

ORCID ID: 0009-0008-2320-4627

ÖZET

Psikolojik sözleşme, çalışan ile örgüt arasında karşılıklı olarak var olduğuna inanılan, yazılı olmayan beklenti ve yükümlülükleri ifade ederken, psikolojik sözleşme ihlali de tarafların birbirlerine yönelik beklenti ve yükümlülüklerini yerine getirmediği algısını ifade etmektedir. Örgütsel adalet, çalışanların örgütteki uygulama, karar ve ücret gibi dağılımları ne ölçüde adil algıladıklarını; örgütsel vatandaşlık davranışı ise çalışanların görev tanımlarının ötesine geçerek örgüte yönelik gönüllü katkılarını ifade etmektedir. Bu araştırmanın amacı, çalışanların psikolojik sözleşme ihlali algıları, örgütsel adalet algıları ve örgütsel vatandaşlık davranışları arasındaki ilişkileri incelemek ve örgütsel adaletin psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkideki aracılık rolünü belirlemektir. Araştırmaya 256 mavi yakalı çalışan katılmıştır. Veriler Psikolojik Sözleşme İhlali Ölçeği, Örgütsel Adalet Ölçeği ve Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Ölçeği kullanılarak toplanmış; SPSS 27.0 ve PROCESS Macro aracılığıyla korelasyon, regresyon ve aracılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları, psikolojik sözleşme ihlali arttıkça örgütsel adalet algısının ve örgütsel vatandaşlık davranışının azaldığını; örgütsel adalet algısı arttığında ise örgütsel vatandaşlık davranışının arttığını göstermiştir. Ayrıca psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki olumsuz etkisi, örgütsel adaletin sağlandığı durumlarda azalmıştır. Aracılık analizi sonucunda ise örgütsel adaletin, psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkide kısmi aracılık rolü üstlendiği belirlenmiştir. Bu sonuç, psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki olumsuz ilişkisinin bir kısmının örgütsel adalet algısı üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir. Bu araştırma, çalışanların örgüte yönelik gönüllü davranışlarını açıklamada psikolojik sözleşme ihlali ve örgütsel adalet arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Psikolojik sözleşme ihlali, örgütsel adalet, örgütsel vatandaşlık davranışı, aracılık.

AN EXAMINATION OF THE RELATIONSHIPS AMONG EMPLOYEES' PERCEPTIONS OF ORGANIZATIONAL JUSTICE, PSYCHOLOGICAL CONTRACT VIOLATION, AND ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIORS

ABSTRACT

While the psychological contract refers to the unwritten expectations and obligations that employees perceive as mutually existing between themselves and the organization, psychological contract violation refers to the perception that the parties have failed to fulfill their expectations and obligations toward one another. Organizational justice refers to the extent to which employees perceive organizational practices, decisions, and resource distributions as fair, whereas organizational citizenship behavior refers to employees' voluntary contributions to the organization that go beyond their formal job responsibilities. The aim of this study was to examine the relationships among employees' perceptions of psychological contract violation, perceptions of organizational justice, and organizational citizenship behaviors, and to determine the mediating role of organizational justice in the relationship between psychological contract violation and organizational citizenship behavior. The study included 256 blue-collar employees. Data were collected using the Psychological Contract Violation Scale, Organizational Justice Scale, and Organizational Citizenship Behavior Scale; correlation, regression, and mediation analyses were conducted using SPSS 27.0 and the PROCESS Macro. The findings indicated that as psychological contract violation increased, perceptions of organizational justice and organizational citizenship behavior decreased, whereas organizational citizenship behavior increased as perceptions of organizational justice increased. In addition, the negative relationship between psychological contract violation and organizational citizenship behavior weakened when organizational justice was included in the model. The mediation analysis demonstrated that organizational justice partially mediated the relationship between psychological contract violation and organizational citizenship behavior. This finding indicates that a portion of the negative relationship between psychological contract violation and organizational citizenship behavior is associated with perceptions of organizational justice. This study contributes to the understanding of employees' voluntary behaviors toward the organization by considering the relationship between psychological contract violation and organizational justice together.

Keywords: Psychological contract violation, organizational justice, organizational citizenship behavior, mediation.

1.GİRİŞ

Günümüz örgütlerinde çalışanların örgüte katkıları yalnızca görev tanımlarında belirtilen sorumluluklarla sınırlı değildir. Çalışanların görevlerinin ötesine geçerek gönüllü biçimde sergiledikleri davranışlar, örgütsel vatandaşlık davranışı kapsamında değerlendirilmektedir. Örgütsel vatandaşlık davranışı, örgütün doğrudan karşılanmayan, görev tanımının ötesinde ve gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilen davranışları ifade etmektedir (Organ, 1988, 1990). Bu davranışlar örgütün genel işleyişine katkı sağlamakta, örgütsel etkinliğin sürdürülmesinde ve çalışanlar arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Örgütsel vatandaşlık davranışının ortaya çıkmasında çalışanların örgüte ilişkin algıları önemli bir yere sahiptir. Bu algılardan biri olan örgütsel adalet, çalışanların örgütte alınan kararların,

yürütülen uygulamaların, kaynak ve ödüllerin dağıtımının ve kişilerarası ilişkilerin ne ölçüde adil olduğuna ilişkin değerlendirmelerini ifade etmektedir (Greenberg, 1993).

Örgütsel adalet algısının çalışanların tutum ve davranışları üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Çalışanların örgüt içerisinde adil bir ortam bulunduğunu düşünmeleri, örgüte yönelik olumlu tutumların ve gönüllü katkıların güçlenmesiyle ilişkilidir. Buna karşılık adaletsizlik algısı, çalışanların örgüte yönelik olumsuz tutumlar geliştirmelerine ve örgütsel katkılarını azaltmalarına neden olabilmektedir (Niehoff & Moorman, 1993). Nitekim örgütsel adalet ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında pozitif yönlü ilişkiler bulunduğunu gösteren araştırmalar bulunmaktadır (Moorman, 1991; Niehoff & Moorman, 1993; Gürbüz et al., 2016). Çalışanların örgüte kurduğu ilişkinin değerlendirilmesinde önemli olan bir diğer kavram psikolojik sözleşmedir. Psikolojik sözleşme, çalışan ile örgüt arasında karşılıklı olarak var olduğuna inanılan, çoğunlukla yazılı olmayan beklenti ve yükümlülükleri ifade etmektedir. Kavram ilk olarak Argyris (1960) tarafından kullanılmış, daha sonraki çalışmalarda Levinson ve arkadaşları (1962) tarafından çalışan ve kuruluş arasındaki yazılı olmayan beklentiler çerçevesinde ele alınmıştır. Rousseau (1989) ise psikolojik sözleşmenin bireysel ve öznel niteliğine dikkat çekmiş ve kavramı çalışanın örgütün kendisine yönelik vaatlerine ilişkin algıları üzerinden açıklamıştır.

Psikolojik sözleşme ihlali, çalışanın örgütün kendisine yönelik vaat ve yükümlülüklerini yerine getirmediğini algılaması durumunu ifade etmektedir (Morrison & Robinson, 1997). Psikolojik sözleşme ihlali, yalnızca örgütün gerçekten bir yükümlülüğü yerine getirip getirmediğiyle değil, çalışanın bu durumu nasıl algıladığıyla da ilişkilidir. Morrison ve Robinson'a (1997) göre çalışanların beklentilerinin karşılanmadığını fark etmeleri, psikolojik sözleşme ihlaline ilişkin algının oluşmasına neden olabilmektedir.

Psikolojik sözleşme ihlalinin çalışanlar açısından çeşitli olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Çalışanların örgüte duyduğu güvenin azalması, örgütsel bağlılığın zayıflaması, iş performansının düşmesi ve örgütsel vatandaşlık davranışlarının azalması psikolojik sözleşme ihlali ile ilişkilendirilen sonuçlar arasında yer almaktadır (Robinson, 1996).

Çalışanın örgütün, kendisine yönelik yükümlülüklerini yerine getirmediğini düşünmesi, örgütün diğer uygulamalarına ilişkin değerlendirmelerini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Morrison ve Robinson (1997), örgüt içerisinde algılanan adaletsizliğin psikolojik sözleşme ihlali algısının oluşmasında önemli bir faktör olabileceğini belirtmektedir. Bu nedenle çalışanların örgütsel uygulamaları adil olarak değerlendirmeleri, psikolojik sözleşmenin sürdürülmesi açısından önem taşımaktadır.

Blau'ya (1964) göre sosyal ilişkiler karşılıklılık temelinde şekillenmektedir. Çalışan örgüte zaman, emek ve becerilerini sunarken karşılığında maddi ve manevi kazanımlar beklemektedir. Çalışanın örgütten gördüğü olumlu uygulamalar, karşılık verme eğilimini güçlendirebilirken; olumsuz deneyimler çalışanların örgüte sundukları katkıları yeniden değerlendirmelerine neden olabilmektedir (Blau, 1964). Bu yaklaşım psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkiyi açıklamak açısından da önem taşımaktadır.

Alanyazı psikolojik sözleşme ihlali, örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkiler ayrı ayrı incelenmiş olmakla birlikte, bu üç değişkenin birlikte ele alındığı araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışanların örgüte yönelik gönüllü davranışlarının açıklanmasında psikolojik sözleşme ihlali ve örgütsel adaletin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, çalışanların psikolojik sözleşme ihlali algıları, örgütsel adalet algıları ve örgütsel vatandaşlık davranışları arasındaki ilişkileri incelemektir. Bunun yanı sıra

psikolojik sözleşme ihlalinin ve örgütsel adaletin örgütsel vatandaşlık davranışını yordama düzeyleri incelenmiş ve örgütsel adaletin psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkideki aracılık rolü test edilmiştir.

Araştırmanın hipotezleri aşağıda verilmiştir:

H1: Katılımcıların psikolojik sözleşme ihlali, örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı düzeyleri arasında anlamlı ilişkiler vardır.

H2: Örgütsel adalet, psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkide aracılık rolü üstlenmektedir.

2.YÖNTEM

2.1. Katılımcılar

Araştırmanın örneklemini 256 mavi yakalı çalışan oluşturmaktadır. Katılımcıların 115'i (%44,9) kadın, 141'i (%55,0) erkektir. Katılımcıların yaş ortalaması 30,10 olarak bulunmuştur. Yaş grupları incelendiğinde katılımcıların %46,4'ünün 18–25, %28,5'inin 26–35, %14,0'ünün 36–45 ve %10,9'unun 46 yaş ve üzerinde olduğu görülmektedir.

Katılımcıların eğitim düzeyleri incelendiğinde %13,3'ünün ilköğretim, %49,6'sının lise, %16,0'sının önlisans, %19,5'inin lisans ve %1,6'sının lisansüstü eğitim düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Gelir düzeyi açısından katılımcıların %10,9'u düşük, %38,7'si düşük-orta, %42,2'si orta, %6,3'ü orta-yüksek ve %2'si yüksek gelir grubunda yer almaktadır. Katılımcıların %41,4'ü evli, %58,6'sı bekârdır. Çalışma şekli bakımından katılımcıların %49,6'sı kadrolu/sürekli, %3,1'i taşeron/alt yüklenici firmada, %5,1'i sözleşmeli, %7,8'i geçici/mevsimlik, %31,3'ü günlük/yevmiyeli ve %3,1'i diğer çalışma biçimlerinde çalışmaktadır.

2.2. Veri Toplama Araçları

2.2.1. Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Ölçeği

Katılımcıların örgütsel vatandaşlık davranışı düzeylerini belirlemek amacıyla Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Ölçeği kullanılmıştır. Ölçeğin kuramsal çerçevesi Organ tarafından oluşturulmuş, ölçek formu Podsakoff ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve Türkçe uyarlama çalışması Basım ve Şeşen (2006) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Ölçek toplam 19 maddeden ve diğergamlık, nezaket, vicdanlılık, centilmenlik ve sivil erdem olmak üzere beş alt boyuttan oluşmaktadır. Ölçek 6'lı Likert tipinde uygulanmaktadır. Bu araştırmada ölçeğin Cronbach Alfa katsayısı ,951 olarak bulunmuştur.

2.2.2. Örgütsel Adalet Ölçeği

Örgütsel adalet algısını ölçmek amacıyla Moorman ve Niehoff (1993) tarafından geliştirilen Örgütsel Adalet Ölçeği kullanılmıştır. Ölçek toplam 20 maddeden ve dağıtımsal adalet, işlemsel adalet ve etkileşimsel adalet olmak üzere üç alt boyuttan oluşmaktadır. Ölçek 5'li Likert tipindedir.

Ölçeğin Türkçe uyarlaması Yıldırım (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında yapılan güvenirlik analizinde ölçeğin Cronbach Alfa katsayısı ,982 olarak hesaplanmıştır.

2.2.3. Psikolojik Sözleşme İhlali Ölçeği

Psikolojik sözleşme ihlali algısını ölçmek amacıyla Robinson ve Morrison (2000) tarafından geliştirilen ve Türközü (2019) tarafından Türkçeye uyarlanan 9 maddelik Psikolojik Sözleşme İhlali Ölçeği kullanılmıştır.

Ölçek ihlal ve reddetme olmak üzere iki alt boyuttan oluşmaktadır. Ölçek 5'li Likert tipinde derecelendirilmektedir. Ölçekte yer alan bazı maddeler ters yönlü olduğundan, ilgili maddelerin puanlaması ters çevrilmiştir. Ölçeğin toplam Cronbach Alfa katsayısı 0,92, reddetme alt

boyutunun Cronbach Alfa katsayısı 0,92, ihlal alt boyutunun Cronbach Alfa katsayısı ise 0,87 olarak belirtilmiştir.

2.2.4. Demografik Bilgi Formu

Araştırmada katılımcıların yaş, cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi, gelir düzeyi, çalışma şekli, toplam çalışma süresi, çalışılan sektör, pozisyon ve aynı şirkette çalışma süresi gibi özelliklerini belirlemek amacıyla demografik bilgi formu kullanılmıştır.

2.3. Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında elde edilen verilerin analizi sırasında SPSS 27.0 versiyon istatistik paket programı ve SPSS'in Process macro eklentisi kullanılmıştır. Analiz sürecinden önce verilerin analize uygunluğu değerlendirilerek eksik veri ve uç değerler kontrol edilmiştir. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri dikkate alınmıştır. Verilerin analizinde korelasyon, basit regresyon ve aracı ilişkileri incelemek için ise hiyerarşik regresyon ve basit aracılık analizi yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmanın temel değişkenleri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir. Analiz sonucunda psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel adalet arasında yüksek düzeyde, negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = -.781$, $p < .01$). Psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında da negatif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($r = -.622$, $p < .01$). Buna karşılık örgütsel adalet ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r = .708$, $p < .01$). Bu sonuçlar, psikolojik sözleşme ihlali algısının artmasıyla çalışanların örgütsel adalet algılarının ve örgüte yönelik gönüllü davranışlarının azalabildiğini; örgütsel adalet algısının artmasıyla ise örgütsel vatandaşlık davranışının arttığını göstermektedir.

Tablo 1. Pearson Korelasyon Analizi Sonuçları

Değişken	Psikolojik Sözleşme İhlali	Örgütsel Adalet	Örgütsel Vatandaşlık Davranışı
Psikolojik Sözleşme İhlali	1	-,781**	-,622**
Örgütsel Adalet	-,781**	1	,708**
Örgütsel Vatandaşlık Davranışı	-,622**	,708**	1

* $p < .05$ ** $p < .01$

Psikolojik sözleşme ihlali algısının artması çalışanların örgüte yönelik güvenlerinin azalmasına ve örgütsel süreçleri daha olumsuz değerlendirmelerine neden olabilmektedir. Öztürk'ün (2011) kamu sektörü çalışanları üzerinde gerçekleştirdiği araştırmada da olumsuz iş deneyimlerinin örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı algıları üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğu belirtilmiştir. Gözde'nin (2018) çalışmasında da örgütsel adalet algısı ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında anlamlı ilişkiler bulunduğu ifade edilmiştir. Bu doğrultuda mevcut araştırma bulgularının ilgili çalışmalarla benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda modelin anlamlı olduğu görülmüştür ($F(1,254) = 160.364$, $p < .001$). Psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık

davranışındaki toplam varyansın %38,7'sini açıkladığı belirlenmiştir ($R = .622$, $R^2 = .387$). Psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisi negatif yönlü ve anlamlıdır ($\beta = -.622$, $t = -12.664$, $p < .001$). Buna göre psikolojik sözleşme ihlali düzeyi yükseldikçe örgütsel vatandaşlık davranışının azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu bulgu, çalışanların örgüt tarafından verilen sözlerin veya yükümlülüklerin yerine getirilmediğini düşünmelerinin örgüte yönelik gönüllü katkılarını azaltabileceğini göstermektedir. Çalışmanın şu ana kadar ki sonucu ile paralel olarak; Özgün'ün (2022) Alanya'da 5 yıldızlı otel işletmeleri üzerinde gerçekleştirmiş olduğu çalışmasında da psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında anlamlı bir ilişki bulunmuş ve bununla birlikte psikolojik sözleşme ihlalinin çalışanların davranışları üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Kırmancıoğlu'nun (2020) çalışmasında da psikolojik sözleşme ihlalinin çalışan davranışları üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceği belirtilmiştir. Örgütsel adaletin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen regresyon analizinde modelin anlamlı olduğu belirlenmiştir ($F(1,254) = 254.991$, $p < .001$). Örgütsel adaletin örgütsel vatandaşlık davranışındaki toplam varyansın %50,1'ini açıkladığı görülmüştür ($R = .708$, $R^2 = .501$). Örgütsel adaletin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisi pozitif yönlü ve anlamlı bulunmuştur ($\beta = .708$, $t = 15.968$, $p < .001$). Dolayısıyla çalışanların örgütsel adalet algıları arttıkça örgütsel vatandaşlık davranışlarının da arttığı görülmektedir.

Tablo 2. Basit Doğrusal Regresyon Analizi Sonuçları

Yordayıcı değişken	B	β	t	p	R^2
Psikolojik Sözleşme İhlali	-1.252	-.622	-12.664	< .001	.387
Örgütsel Adalet	.614	.708	15.968	< .001	.501

* $p < .05$ ** $p < .01$

Bu sonuç, çalışanların örgüt içerisindeki uygulamaları, ödül dağılımını, karar alma süreçlerini ve yöneticilerle ilişkilerini adil olarak değerlendirmelerinin örgüte yönelik olumlu tutum ve davranışlarını destekleyebileceğini göstermektedir. Yani çalışanların yalnızca resmi görevlerini yerlerine getirmekle sınırlı kalmayıp örgütün işleyişini destekleyen ekstra olumlu rol davranışları sergilemeleri, yüksek oranda örgütte algılanan adalet düzeyi ile ilişkilendirilmektedir. Gürbüz, Ayhan ve Sert (2016) tarafından Türkiye'de gerçekleştirilen meta analiz çalışmasında, örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı değişkenleri arasında orta seviyede pozitif yönde ilişkilerin bulunduğu ifade edilmektedir.

Araştırmanın temel amaçlarından biri olan örgütsel adaletin aracılık rolünü incelemek amacıyla hiyerarşik regresyon ve aracılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Hiyerarşik regresyon analizinin ilk aşamasında psikolojik sözleşme ihlali modele dahil edilmiş ve bu değişkenin örgütsel vatandaşlık davranışını negatif yönde ve anlamlı biçimde yordadığı görülmüştür. İlk modelde psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışındaki varyansın %38,7'sini açıkladığı belirlenmiştir. İkinci aşamada modele örgütsel adalet değişkeni eklenmiş ve açıklanan varyansın %51,3'e yükseldiği görülmüştür. Örgütsel adaletin modele eklenmesiyle açıklanan varyansta %12,6 oranında artış meydana gelmiştir. İkinci modelde psikolojik sözleşme ihlalinin etkisi zayıflarken örgütsel adaletin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı olduğu belirlenmiştir ($\beta = .569$, $p < .001$).

Tablo 3. Hiyerarşik Regresyon Analizi Sonuçları

Model	Yordayıcı değişken	β	R^2	ΔR^2	p
Model 1	Psikolojik Sözleşme İhlali	-.622	.387	—	< .001
Model 2	Psikolojik Sözleşme İhlali	-.178	.513	.126	.012

Model 2	Örgütsel Adalet	.569	.513	.126	< .001
---------	-----------------	------	------	------	--------

* p<.05 ** p<.01

Bu bulgu, örgütsel adaletin çalışan davranışlarının açıklanmasında önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir. Çalışanlar psikolojik sözleşme ihlali algılasalar dahi örgüt içerisindeki adil uygulamaların varlığı, söz konusu olumsuz etkinin düzeyini azaltabilmektedir. Örgütsel adaletin çalışanlarda güven ortamı oluşturmaya, örgüte bağlılık ve aidiyetin korunmasına katkı sağlamaya, örgütsel vatandaşlık davranışının devamlılığı açısından önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Dağlı'nın (2016) gerçekleştirdiği çalışmada da psikolojik sözleşme ihlalleri ile örgütsel vatandaşlık davranışı ve örgütsel adalet algısı arasında anlamlı ilişkiler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Aracılık analizinde psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki toplam etkisinin negatif ve anlamlı olduğu belirlenmiştir ($B = -1.252$, $SE = .099$, $t = -12.66$, $p < .001$). 5000 örneklemlili bootstrap yöntemiyle gerçekleştirilen analiz sonucunda psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki dolaylı etkisinin de anlamlı olduğu bulunmuştur ($B = -0.894$, $BootSE = .126$, %95 GA [-1.129, -.636]). Güven aralığının sıfırı içermemesi, örgütsel adaletin bu ilişkide anlamlı bir aracılık rolü bulunduğunu göstermektedir. Psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki doğrudan etkisinin devam etmesi nedeniyle örgütsel adaletin bu ilişkide kısmi aracılık rolü üstlendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu sonuç, psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisinin yalnızca doğrudan bir ilişkiden ibaret olmadığını, örgütsel adalet algısının da bu ilişkide rol oynadığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle, çalışanların örgütün kendilerine yönelik yükümlülüklerini yerine getirmediğini düşünmeleri örgütsel vatandaşlık davranışlarının azalmasıyla ilişkili olmakla birlikte, örgüt içerisindeki adalet algısının bu olumsuz ilişkinin düzeyini azaltabildiği görülmektedir. Bu sonuç, Dağlı'nın (2016) çalışmasında ortaya konulan psikolojik sözleşme ihlali, örgütsel vatandaşlık davranışı ve örgütsel adalet arasındaki ilişkilerle uyumludur.

Demografik değişkenlere ilişkin analizlerde cinsiyet ve medeni duruma göre psikolojik sözleşme ihlali, örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı puanlarının anlamlı düzeyde farklılaşmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte yaş ile örgütsel adalet arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki ($r = .151$, $p < .05$), yaş ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında ise pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki ($r = .216$, $p < .01$) bulunmuştur. Ayrıca toplam çalışma süresi ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında ($r = .137$, $p < .05$) ve aynı kurumda çalışma süresi ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında ($r = .153$, $p < .05$) pozitif yönlü ve anlamlı ilişkiler belirlenmiştir.

Genel olarak araştırma bulguları birlikte değerlendirildiğinde psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı ile negatif yönde ilişkili olduğu; örgütsel adaletin ise örgütsel vatandaşlık davranışı ile pozitif yönde ilişkili olduğu görülmektedir. Bunun yanında psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki negatif etkisinin, örgütsel adalet değişkeninin modele dahil edilmesiyle zayıfladığı ve örgütsel adaletin bu ilişkide kısmi aracılık rolü üstlendiği belirlenmiştir. Araştırmanın bu bulguları, çalışanların örgüte yönelik gönüllü davranışlarını anlamada psikolojik sözleşme ihlali ve örgütsel adaletin birlikte değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

4.SONUÇ

Araştırmanın temel sonucu, örgütsel adaletin psikolojik sözleşme ihlali ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişkide kısmi aracılık rolü üstlenmesidir. Bu sonuç, psikolojik sözleşme

ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışıyla ilişkisinin yalnızca doğrudan bir ilişki olmadığını, örgütsel adalet algısının da bu ilişkinin açıklanmasında önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Araştırmadan elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, çalışanların örgüt tarafından verilen söz ve yükümlülüklerin yerine getirilmesine ilişkin algılarının, örgüte yönelik gönüllü davranışlarıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Bunun yanında örgüt içerisindeki uygulamaların adil olarak değerlendirilmesi, çalışanların örgüte yönelik gönüllü katkılarının sürdürülmesi açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Argyris, C. (1960). *Understanding organizational behavior*. Dorsey Press.
- Basım, H. N., & Şeşen, H. (2006). Örgütsel vatandaşlık davranışı ölçeği uyarlama ve karşılaştırma çalışması. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 61(4), 83–101.
- Blau, P. M. (1964). *Exchange and power in social life*. Wiley.
- Colquitt, J. A. (2001). On the dimensionality of organizational justice: A construct validation of a measure. *Journal of Applied Psychology*, 86(3), 386–400. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.386>
- Dağlı, M. (2016). *Psikolojik sözleşme ihlalleri, örgütsel vatandaşlık ve örgütsel adalet algısı ilişkisine yönelik bir araştırma* [Doktora tezi]. Haliç Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Gözde, A. (2018). *Örgütsel adalet algısı, örgütsel vatandaşlık davranışı, işten ayrılma niyeti ve örgütsel insandışılaştırılma algısı arasındaki ilişkiler* [Yüksek lisans tezi]. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Greenberg, J. (1993). Justice and organizational citizenship: A commentary on the state of the science. *Employee Responsibilities and Rights Journal*, 6(3), 249–256.
- Gürbüz, S., Ayhan, Ö., & Sert, M. (2016). Örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışı ilişkisi: Türkiye’de yapılan araştırmalar üzerinden bir meta analizi. *Türk Psikoloji Dergisi*, 31(77), 61–75.
- Kırmanoğlu, T. (2020). *Psikolojik sözleşme ihlali ile sosyal aylıklık arasındaki ilişkide beş faktör kişilik özelliklerinin ara değişken rolü* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Levinson, H., Price, C. R., Munden, K. J., Mandl, H. J., & Solley, C. M. (1962). *Men, management, and mental health*. Harvard University Press.
- Moorman, R. H. (1991). Relationship between organizational justice and organizational citizenship behaviors: Do fairness perceptions influence employee citizenship? *Journal of Applied Psychology*, 76(6), 845–855.
- Morrison, E. W., & Robinson, S. L. (1997). When employees feel betrayed: A model of how psychological contract violation develops. *Academy of Management Review*, 22(1), 226–256.
- Niehoff, B. P., & Moorman, R. H. (1993). Justice as a mediator of the relationship between methods of monitoring and organizational citizenship behavior. *Academy of Management Journal*, 36(3), 527–556.
- Organ, D. W. (1988). *Organizational citizenship behavior: The good soldier syndrome*. Lexington Books.
- Özgün, İ. (2022). *Psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisi: Alanya’da faaliyet gösteren 5 yıldızlı otel işletmelerinde bir araştırma* [Yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Öztürk, H. (2016). *Örgütsel adalet algısı, duygusal zeka ve çatışma yönetim stilleri arasındaki ilişkiler* (Tez No. 447749) [Yüksek lisans tezi]. Abant İzzet Baysal Üniversitesi. YÖK Tez Merkezi.

- Robinson, S. L. (1996). Trust and breach of the psychological contract. *Administrative Science Quarterly*, 41(4), 574–599.
- Robinson, S. L., & Morrison, E. W. (2000). The development of psychological contract breach and violation: A longitudinal study. *Journal of Organizational Behavior*, 21(5), 525–546. [https://doi.org/10.1002/1099-1379\(200008\)21:5<525::AID-JOB40>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1099-1379(200008)21:5<525::AID-JOB40>3.0.CO;2-T)
- Rousseau, D. M. (1989). Psychological and implied contracts in organizations. *Employee Responsibilities and Rights Journal*, 2(2), 121–139.
- Türközü, Ö. (2019). *Psikolojik sözleşme ihlalinin örgütsel sinizm üzerine etkisinin incelenmesi: Çağrı merkezi sektöründe bir araştırma* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yıldırım, F. (2002). *Çalışma hayatında örgütsel bağlılık ve adalet ilişkisi* [Doktora tezi]. Ankara Üniversitesi.

ÜRETİM MEKÂNINDAN ENDÜSTRİ MÜZESİNE: ERTEMLER ZEYTİNYAĞI FABRİKASI'NIN YENİDEN İŞLEVLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KURNAZ

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-9536-870X

ÖZET

Ayvalık, 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren zeytin ve zeytinyağı üretimine dayalı endüstriyel gelişimiyle biçimlenmiş önemli bir kıyı yerleşimidir. Kentte üretim faaliyetlerinin sona ermesiyle işlevini kaybeden zeytinyağı fabrikalarının korunması ve yeniden kullanılması, endüstriyel mirasın sürekliliği açısından güncel bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Bu çalışma, 1910 yılında inşa edilen ve yağhane ile sabunhane işlevlerini barındıran Ertemler Zeytinyağı Fabrikası'nın Ayvalık Rahmi M. Koç Müzesi olarak yeniden işlevlendirilmesini incelemektedir. Araştırmanın amacı, üretim yapısına ait mimari ve endüstriyel izlerin müze dönüşümü sonrasında ne ölçüde korunarak görünür kılındığını ve yeni işlevin yapının tarihsel kimliğiyle kurduğu ilişkiyi değerlendirmektir. Çalışma, nitel tekil durum araştırması olarak kurgulanmış; yapının tarihçesine ve restorasyon sürecine ilişkin yazılı ve görsel belgeler, yerinde gözlem ve iç-dış mekânlara yönelik fotoğrafik belgeleme birlikte kullanılmıştır. Değerlendirme; mimari-fiziksel süreklilik, endüstriyel okunabilirlik, yeni işlev ve müdahale uyumu ve endüstriyel belleğin yorumlanması olmak üzere dört analitik boyut üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bulgular, yapının endüstriyel karakterini tanımlayan temel mimari öğelerin ve üretim belleğini aktaran bazı özgün unsurların müze kurgusu içinde okunabilirliğini sürdürdüğünü göstermektedir. Özellikle tarihî üretim makinesinin yerinde sergilenmesi, fabrika geçmişi ile güncel müze deneyimi arasında doğrudan bir bağ kurmaktadır. Yeni müdahalelerin özgün yapıdan ayırt edilebilir nitelikte ele alınması ve geniş üretim hacimlerinin sergileme işlevine uyarlanması, dönüşümün güçlü yönleri olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, endüstriyel mirasın yalnızca fiziksel kabuk ve makineler üzerinden değil, üretim süreçleri, emek tarihi ve yerel zeytinyağı kültürüyle birlikte yorumlanması gerekmektedir. Çalışma, Ertemler örneğinin üretim mekânlarının endüstri müzesine dönüştürülmesinde özgünlük, okunabilirlik ve işlev uyumuna ilişkin aktarılabılır çıkarımlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Endüstri mirası, yeniden işlevlendirme, zeytinyağı fabrikası, endüstri müzesi

**Bu araştırma projesi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2218 Yurt İçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı kapsamında 124C103 proje numarasıyla desteklenmiştir.*

FROM PRODUCTION SPACE TO AN INDUSTRIAL MUSEUM: THE ADAPTIVE REUSE OF THE ERTEMLER OLIVE OIL FACTORY

ABSTRACT

Ayvalık is an important coastal settlement whose development was shaped by olive cultivation and olive oil production, particularly from the second half of the nineteenth century onward. As production activities declined, the conservation and reuse of disused olive oil factories became an important issue for the continuity of the town's industrial heritage. This study examines the

adaptive reuse of the Ertemler Olive Oil Factory. Built in 1910, it originally housed olive oil and soap production and now accommodates the Ayvalık Rahmi M. Koç Museum. It evaluates the extent to which the architectural and industrial traces of the former production space remain visible after the museum conversion and how the new function relates to the building's historical identity. The research is designed as a qualitative single-case study that combines written and visual documentation of the building's history and restoration with on-site observation and photographic recording of its interior and exterior spaces. The assessment is structured around four analytical dimensions: architectural-physical continuity, industrial legibility, compatibility of the new function and interventions, and the interpretation of industrial memory. The findings indicate that the main architectural elements that define the building's industrial character, as well as several original components that communicate its production memory, remain legible within the museum setting. In particular, the in situ display of historic production machine establishes a direct connection between the factory's former use and the contemporary museum experience. The distinguishability of new interventions and the adaptation of large production volumes for exhibition purposes are evaluated as strengths of the project. Nevertheless, industrial heritage interpretation should extend beyond the physical shell and machinery to encompass production processes, labor history, and Ayvalık's olive oil culture. The study concludes that the Ertemler case offers transferable insights into authenticity, legibility, and functional compatibility in the adaptive reuse of production spaces as industrial museums.

Keywords: Industrial heritage, adaptive reuse, olive oil factory, industrial museum

**This research project was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the 2218: National Postdoctoral Research Fellowship Program, under project number 124C103.*

1. GİRİŞ

Endüstri mirası, yalnızca üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği yapıların fiziksel varlığından değil; üretim sistemleri, makineler, teknik donanım, ulaşım ve altyapı öğeleri ile bu süreçlerin şekillendirdiği çalışma kültürü, toplumsal ilişkiler ve kolektif bellekten oluşan çok katmanlı bir miras alanıdır. Nizhny Tagil Tüzüğü, endüstri mirasının tarihsel, teknolojik, sosyal, mimari ve bilimsel değerlerini birlikte ele alırken; ICOMOS–TICCIH Dublin İlkeleri bu mirasın anlaşılması ve korunmasında yapıların yanı sıra üretim süreçlerinin, donanımların, peyzajın ve ilişkili somut olmayan değerlerin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır (TICCIH, 2003; ICOMOS & TICCIH, 2011). Bu yaklaşım, üretim işlevini kaybetmiş endüstri yapılarının korunmasını yalnızca fiziksel kabuğun devamlılığına indirgememekte; yapının geçmiş işlevinin ve taşıdığı kültürel anlamların geleceğe aktarılmasını da koruma sürecinin temel bileşenlerinden biri hâline getirmektedir.

Üretim teknolojilerindeki değişim, sanayinin kent dışına taşınması ve ekonomik işlevlerin dönüşmesi sonucunda özgün kullanımını kaybeden endüstri yapıları için yeniden işlevlendirme, çağdaş koruma pratiğinin başlıca araçlarından biri hâline gelmiştir. Bununla birlikte güncel literatür, başarılı bir yeniden kullanımın yalnızca yapıya yeni bir işlev kazandırılmasıyla ölçülemeyeceğini göstermektedir. Yeni kullanımın yapının mekânsal özellikleriyle uyumu, özgün malzeme ve strüktürün korunması, yeni müdahalelerin niteliği, kültürel değerlerin sürekliliği, ekonomik ve işlevsel sürdürülebilirlik ile özgünlük gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Arfa et al., 2022; Mısırlısoy & Günçe, 2016; Vafaie et al., 2023). Yeniden kullanım literatürüne yönelik eleştirel çalışmalar da kavramın yalnızca

kaynakların yeniden değerlendirilmesine dayalı teknik bir strateji olarak değil, mevcut yapının geçmiş ile yeni kullanım arasında yeniden anlam üreten kültürel bir süreç olarak ele alınması gerektiğine işaret etmektedir (Lanz & Pendlebury, 2022).

Endüstri yapılarının müzeye dönüştürülmesi bu bağlamda özel bir konuma sahiptir. Geniş açıklıklı üretim mekânları ve güçlü mekânsal karakterleri sergileme işlevi açısından önemli olanaklar sunarken, müze kullanımı aynı zamanda yapının kendi geçmişini yorumlama potansiyeli taşımaktadır. Ancak fiziksel mekânın ve strüktürün korunması, endüstriyel belleğin bütünüyle aktarıldığı anlamına gelmemektedir. Luo ve Cao'nun (2023) müzeye dönüştürülen endüstri yapıları üzerine gerçekleştirdiği çalışma, yeniden kullanım uygulamalarının çoğunlukla mekân ve strüktür gibi somut bellek taşıyıcıları üzerinde yoğunlaştığını; üretim bilgisi, çalışma yaşamı ve diğer somut olmayan bellek öğelerinin yorumlanmasının ise daha sınırlı kalabildiğini göstermektedir. Bu nedenle endüstri müzelerinin başarısının, korunmuş yapı kabuğunun ötesinde, yapının özgün üretim işlevinin ne ölçüde okunabilir ve anlaşılabilir kaldığı üzerinden de değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Ayvalık bu tartışma açısından özgün bir bağlam sunmaktadır. Zeytin yetiştiriciliği ile zeytinyağı ve sabun üretimi, özellikle 19. yüzyıldan itibaren kentin ekonomik gelişimini, fiziksel biçimlenmesini ve kültürel kimliğini belirleyen temel unsurlardan biri olmuştur. UNESCO'nun Ayvalık Industrial Landscape tanımında da zeytinlikler, liman, geleneksel yerleşim dokusu, zeytinyağı fabrikaları, sabunhaneler, işlikler ve depolar birbirleriyle ilişkili bir üretim peyzajının parçaları olarak değerlendirilmektedir. Kent merkezinde yer alan çok sayıdaki üretim yapısının teknolojik değişimler ve endüstriyel faaliyetlerin taşınması sonrasında özgün işlevini kaybetmesi ise bu yapı stokunun korunması ve çağdaş kullanımlarla sürdürülmesi sorununu gündeme getirmiştir (UNESCO World Heritage Centre, 2017; Yıldız & Şahin Güçhan, 2023).

Bu yapı grubu içerisinde yer alan Ertemler Zeytinyağı Fabrikası, zeytinyağı ve sabun üretiminin aynı endüstriyel kompleks içerisinde okunabildiği Ayvalık örneklerinden biridir. Yapının miras değerleri, fiziksel sorunları ve yeniden kullanım potansiyeli önceki araştırmalarda ayrıntılı biçimde tartışılmış; ayrıca Ayvalık'ın zeytinyağı ve sabun üretimine dayalı endüstriyel gelişimi içerisinde önemli bir örnek olarak belgelenmiştir (Yıldız & Şahin Güçhan, 2018, 2023). Daha yakın tarihli bir çalışma, Ertemler Fabrikası'nı Ayvalık'taki farklı yeniden kullanım örnekleriyle birlikte değerlendirerek, fiziksel kabuğun korunmasına karşın üretim izlerinin müze anlatısıyla ilişkisinin sınırlı kalabildiğine dikkat çekmiştir (Şener & Eldek Güner, 2025). Bununla birlikte, Ertemler'i tekil vaka olarak uygulama sonrasında sistematik bir değerlendirme çerçevesi üzerinden inceleyen; mimari-fiziksel süreklilik, endüstriyel okunabilirlik, müdahale uyumu ve endüstriyel belleğin yorumlanmasını birlikte ele alan odaklı bir değerlendirmeye ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu çalışma, Ertemler Zeytinyağı Fabrikası'nın müzeye dönüşümünü yalnızca yeni işlevin yerleştirilmesi açısından değil, endüstriyel kimliğin yeni kullanım içerisinde ne ölçüde okunabilir kaldığı üzerinden değerlendirmektedir. Araştırma; özgün mimari karakterin ve mekânsal bütünlüğün sürekliliğini, üretim donanımı ve izlerinin görünürlüğünü, çağdaş müdahaleler ile tarihî doku arasındaki ilişkiyi ve müze kurgusunun üretim belleğini aktarma kapasitesini birlikte ele almaktadır. Bu doğrultuda temel araştırma sorusu, bir üretim yapısının endüstri müzesine dönüştürülmesinin fiziksel korumanın ötesinde, yapının özgün üretim kimliği ve belleğinin yeni müze kurgusu içerisinde ne ölçüde okunabilir kaldığı olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme üzerinden çalışma, Ertemler örneğinin güçlü ve geliştirilebilir

yönlerini ortaya koymayı ve tarımsal endüstri mirasının müze odaklı yeniden kullanımına ilişkin aktarılabilir çıkarımlar üretmeyi amaçlamaktadır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Ertemler Zeytinyağı Fabrikası ve Araştırma Yaklaşımı

Ertemler Zeytinyağı Fabrikası, Ayvalık'ın zeytinyağı ve sabun üretimine dayalı endüstriyel gelişiminin günümüze ulaşan karakteristik örneklerinden biridir. Yapının tarihlendirilmesine ilişkin akademik çalışma, fabrikanın 1910 yılında Anastasyos Yorgolos tarafından yaptırıldığını; farklı işletmecilerin ardından mülkiyetinin 1952 yılında Ertem kardeşlere geçtiğini ve üretimin yaklaşık 2000 yılına kadar sürdüğünü belirtmektedir (Yıldız & Şahin Güçhan, 2018). Aynı çalışma, fabrikanın zeytinyağı üretimi, sabun üretimi ve daha sonra eklenen servis/depolama bölümünden oluşan üç bitişik bloklu bir düzen gösterdiğini; taş ve tuğla kâgir sistem, geniş üretim hacimleri, baca ve üretim süreciyle ilişkili mimari-teknik öğelerin yapının endüstriyel niteliğini belirlediğini ortaya koymaktadır (Yıldız & Şahin Güçhan, 2018).

Rahmi M. Koç Müzesi'nin kurumsal tarihçesinde yapı, Ayvalık'taki 19. yüzyıl avlusuz fabrika tipolojisinin özelliklerini yansıtan; yağhane ve sabunhane bölümlerinden oluşan, kâgir duvarlar ile ahşap döşeme kirişlerinin birlikte kullanıldığı bir üretim yapısı olarak tanımlanmaktadır. Fabrikanın 1950'li yıllarda üretim kapasitesi bakımından gelişmiş bir düzeye ulaştığı, 1990'ların sonunda kullanım dışı kaldığı ve zaman içerisinde tahribata uğradığı belirtilmektedir. Yapı 2021 yılında RMK Kültür Faaliyetleri A.Ş. tarafından satın alınmış; özgün malzeme ve yapım tekniklerinin korunmasını esas alan onarımın ardından Ayvalık Rahmi M. Koç Müzesi olarak yeniden kullanıma açılmıştır (Rahmi M. Koç Müzesi, t.y.) (Şekil 1).



Şekil 1. Ertemler Zeytinyağı Fabrikası'nın Ayvalık Rahmi M. Koç Müzesi olarak yeniden işlevlendirilmesi sonrasındaki dış görünümü (Yazar arşivi, 2025).

Bu araştırma, yapının dönüşümünü uygulama sonrası nitel tekil durum araştırması olarak değerlendirmektedir. Böylece çalışma, yalnızca restorasyon öncesindeki değer ve potansiyelleri tanımlamak yerine, literatürde ve önceki çalışmalarda tanımlanan koruma ve yeniden kullanım ölçütlerinin tamamlanmış bir uygulamada nasıl karşılık bulduğuna odaklanmaktadır. Benzer biçimde güncel çalışmalar, yeniden işlevlendirme başarısının tamamlanmış projeler üzerinden değerlendirilmesinin kuramsal ilkeler ile uygulama sonuçları arasındaki ilişkiyi görünür kıldığını göstermektedir (Vafaie et al., 2025). Endüstri mirasında yeni işlev ile yapılan fiziksel müdahaleler arasındaki ilişkinin sistematik olarak incelenmesi de yeniden kullanım performansının değerlendirilmesinde önemli bir analitik araçtır (Çakır & Edis, 2022).

Araştırmada üç kanıt grubu birlikte kullanılmıştır: (1) yapının dönüşüm öncesi durumunu belgeleyen akademik çalışmalar ve görsel/mimari dokümanlar, (2) yapı tarihçesi ve restorasyon sürecine ilişkin kurumsal ve proje belgeleri ve (3) müze ziyareti sırasında gerçekleştirilen yerinde gözlem ile iç-dış mekân fotoğraflık belgelemesi. Yerinde gözlem ve fotoğraflık belgeleme Nisan 2025'te gerçekleştirilmiştir. Güncel sergileme düzeninin yapının eski üretim kimliğiyle kurduğu ilişki, bu üç veri grubunun birlikte değerlendirilmesi üzerinden incelenmiştir. Analitik çerçeve, yeniden kullanım başarı ölçütleri ile endüstriyel belleğin yorumlanmasına ilişkin çalışmaların sentezinden türetilmiş; elde edilen veriler dört boyut

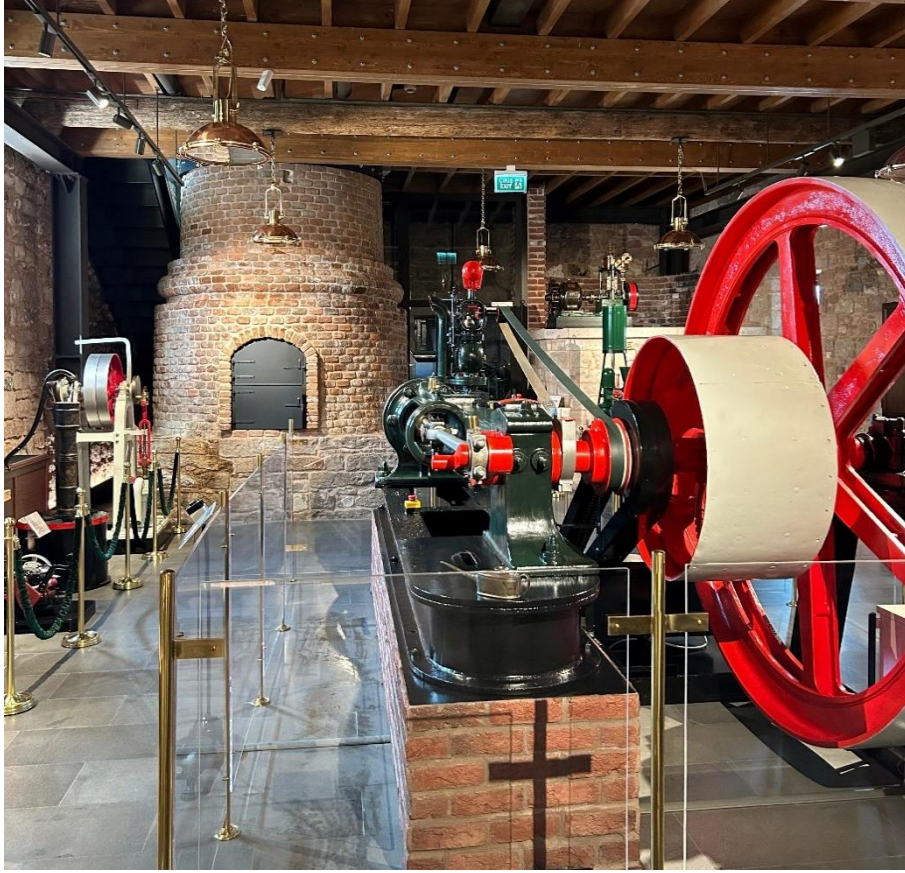
altında incelenmiştir.: mimari-fiziksel süreklilik, endüstriyel okunabilirlik, yeni işlev ve müdahale uyumu ve endüstriyel belleğin yorumlanması. Vafaie et al. (2023) mimari, işlevsel, özgünlük ve sosyo-kültürel faktörleri yeniden kullanım başarısının temel bileşenleri arasında tanımlarken; Luo ve Cao (2023) müzeye dönüştürülen endüstri mirasında fiziksel bellek taşıyıcıları ile üretim bilgisi ve kültürel anlamların birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu yaklaşım nicel bir başarı puanı üretmek yerine, her değerlendirmeyi doğrudan belgelenebilir fiziksel veya yorumlayıcı kanıta dayandırmaktadır. Değerlendirmede güçlü ifadesi, ilgili boyutun temel fiziksel veya yorumlayıcı göstergelerinin açık ve süreklilik gösterecek biçimde gözlemlendiği durumları; kısmi/geliştirilebilir ifadesi ise bazı göstergeler korunmakla birlikte okunabilirlik veya yorumlama sürekliliğinin sınırlı kaldığı durumları tanımlamak için kullanılmıştır. Çalışma ziyaretçi memnuniyeti veya algısını ölçmemekte; bu nedenle sonuçlar kullanıcı deneyiminin istatistiksel değerlendirmesi olarak değil, mimari ve miras odaklı bir uygulama sonrası değerlendirme olarak ele alınmaktadır. Ziyaretçi algısını ölçen çalışmaların tamamlanmış yeniden kullanım projelerinde farklı bir değerlendirme katmanı sağladığı dikkate alındığında, bu boyut ileride yapılacak çalışmalar için ayrıca ele alınabilir (Vardopoulos, 2022).

2.2. Koruma, Okunabilirlik ve Yeni İşlevin Değerlendirilmesi

Yerinde gözlemler, dönüşüm sonrasında yapının endüstriyel karakterini belirleyen temel mimari öğelerin okunabilirliğini büyük ölçüde sürdürdüğünü göstermektedir. Özgün kütle ve cephe karakterinin korunması, kâğır yapı sisteminin algılanabilirliği ve geniş üretim hacimlerinin yeni kullanım içinde parçalanmadan okunabilmesi, mimari-fiziksel süreklilik açısından dönüşümün başlıca güçlü yönlerini oluşturmaktadır. Bu durum, müze işlevinin geniş ve görece esnek üretim hacimlerine uyarlanabilmesi sayesinde yeni programın mevcut mekânsal yapıyla önemli ölçüde örtüştüğünü düşündürmektedir. Endüstri mirası üzerine yapılan karşılaştırmalı çalışmalar da yeni işlevin mekânsal gereksinimleri ile mevcut yapının kapasitesi arasındaki uyumun müdahale miktarını doğrudan etkilediğini göstermektedir (Çakır & Edis, 2022).

İkinci boyut olan endüstriyel okunabilirlik, dönüşümün en dikkat çekici yönlerinden biridir. Yapının yalnızca tarihî bir kabuk olarak kullanılması yerine, üretim geçmişine ait bazı özgün öğelerin sergileme kurgusunun parçası olarak korunması eski ve yeni kullanım arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır. Özellikle tarihî üretim makinesinin yapı içerisinde yerinde sergilenmesi, yapının geçmiş üretim işlevinin mekânsal okunabilirliğini güçlendiren önemli bir bellek taşıyıcısıdır (Şekil 2). Bu öğe, bağımsız bir koleksiyon nesnesinden farklı olarak bulunduğu tarihî üretim mekânıyla birlikte anlam kazanmaktadır.



Şekil 2. Müze iç mekânında tarihî üretim makinesi ile çağdaş sergileme düzeninin birlikteliği; özgün üretim işlevinin mekânsal okunabilirliği (Yazar arşivi, 2025).

Yeni işlev ve müdahale uyumu açısından değerlendirildiğinde, çağdaş sergileme elemanlarının tarihi yapıdan ayırt edilebilir biçimde ele alınması ve ana üretim hacimlerinin algısını ikincil planda bırakmaması olumlu değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, yeni kullanımın tarihi yapıyı taklit eden bir rekonstrüksiyona dönüşmesini önlerken eski ve yeni katmanların birlikte okunmasına olanak sağlamaktadır. Müze kullanımının mevcut geniş hacimlerle uyumu da kapsamlı mekânsal bölünme gereksinimini azaltarak fabrikanın üretim yapısı niteliğinin devamlılığını desteklemektedir. Bu sonuç, yeniden kullanımda minimum müdahale, değişikliklerin okunabilirliği ve mimari uyum gibi faktörlerin önemini ortaya koyan güncel literatürle paraleldir (Vafaie et al., 2023, 2025).

Bununla birlikte dönüşümün en fazla geliştirilebilecek yönü endüstriyel belleğin yorumlanmasıdır. Yapının fiziksel özellikleri ile üretim donanımına ait öğelerin korunması güçlü bir başlangıç sağlamakla birlikte, endüstriyel mirasın anlamı yalnızca yapı elemanları ve teknik nesnelerden oluşmamaktadır. Üretim zincirinin nasıl işlediği, yağhane ile sabunhane arasındaki işlevsel ilişki, fabrikada çalışanların deneyimleri, yerel üretici ailelerin belleği ve zeytinyağının Ayvalık'ın ekonomik ve gündelik yaşamındaki rolü de yapının kültürel önemini parçalarıdır. Luo ve Cao (2023), müzeye dönüştürülmüş endüstri yapılarında mekân ve strüktür gibi fiziksel bellek taşıyıcılarının çoğunlukla başarılı biçimde korunmasına karşın üretim bilgisi ve diğer somut olmayan bellek katmanlarının daha zayıf temsil edilebildiğini ortaya koymaktadır.

Yerinde gözlem sırasında müze koleksiyonunun karayolu ulaşımı, modeller ve oyuncaklar ile denizcilik gibi yapının özgün zeytinyağı üretim işlevinin ötesine geçen temalara yayıldığı

görülmüştür. Bu durum işlevsel çeşitlilik açısından bir zenginlik olmakla birlikte, yapının kendi hikâyesinin koleksiyon içinde görünürlüğünü korumasını daha önemli hâle getirmektedir. Bu yorum, mevcut müze programının olumsuzlanması değil; yapı ile sergilenen koleksiyon arasında yapıya özgü bir anlatı katmanının güçlendirilmesi gerektiğine ilişkin bir çıkarımdır. Dört boyut üzerinden elde edilen değerlendirme Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Ertemler Zeytinyağı Fabrikası'nın uygulama sonrası değerlendirme matrisi

Değerlendirme boyutu	Temel gözlemsel kanıt	Değerlendirme
Mimari-fiziksel süreklilik	Özgün kütle, cephe, kâgir sistem ve geniş üretim hacimlerinin okunabilirliği	Güçlü
Endüstriyel okunabilirlik	Üretim izleri ve tarihî makinenin mekân içinde görünürlüğü	Güçlü
İşlev ve müdahale uyumu	Müze kullanımının üretim hacimleriyle uyumu; yeni katmanların ayırt edilebilirliği	Güçlü
Endüstriyel belleğin yorumlanması	Fiziksel izlerin güçlü biçimde korunması; üretim süreci, emek tarihi ve yerel kültür anlatısının geliştirilebilir olması	Kısmi / geliştirilebilir

Bu değerlendirme, Ertemler örneğinde yeniden işlevlendirmenin temel başarısının fabrika kimliğini yeni müze programı içerisinde bütünüyle silmeden koruyabilmesinde yattığını göstermektedir. Buna karşılık dönüşümün gelecekteki yorumlama potansiyeli, yeni fiziksel müdahalelerden çok üretim süreçlerini, emek belleğini ve Ayvalık'ın zeytinyağı kültürünü görünür kılacak geri alınabilir ve düşük müdahaleli grafik, dijital ve anlatısal araçların geliştirilmesinde bulunmaktadır. Böyle bir yaklaşım, korunmuş endüstri yapısını yalnızca sergilerin yer aldığı tarihî bir fon olmaktan çıkararak yapının kendisini müze anlatısının asli öğelerinden biri hâline getirebilir.

3. TARTIŞMA

Ertemler örneği, endüstri mirasının yeniden kullanımında fiziksel süreklilik ile yorumlayıcı sürekliliğin aynı düzeyde gerçekleşmeyebileceğini göstermektedir. Yapının kütlesi, cephe karakteri, üretim hacimleri ve bazı teknik öğeleri yeni müze işlevi içinde okunabilirliğini korurken, üretim süreçleri, emek deneyimi ve yerel zeytinyağı kültürü daha sınırlı bir anlatı katmanı oluşturmaktadır. Bu ayrım, yeniden kullanım başarısının yalnızca fiziksel koruma veya işlevsel uyumla açıklanamayacağını; mimari ve sosyo-kültürel boyutların birlikte ele alınması gerektiğini vurgulayan çalışmalarla uyumludur (Vafaie et al., 2023, 2025). Müze dönüşümlerinde somut bellek taşıyıcılarının korunmasına rağmen somut olmayan üretim bilgisinin daha zayıf temsil edilebildiğine ilişkin bulgular da Ertemler vakasındaki bu asimetriyi açıklamaktadır (Luo & Cao, 2023).

Bu nedenle geliştirme potansiyeli yeni fiziksel müdahalelerden çok, yapının üretim hikâyesini güçlendirecek geri alınabilir ve düşük müdahaleli yorumlama araçlarında görülmektedir. Yağhane-sabunhane ilişkisinin şematik anlatımı, eski üretim fotoğrafları ve işçi/üretici anlatılarını mevcut mekânlarla ilişkilendiren kısa dijital içerikler yapıya özgü belleği güçlendirebilir. Ziyaretçi algısının ölçülmemiş olması ise bir sınırlılıktır; kullanıcı algısı uygulama sonrası değerlendirmelerde farklı bir katman sağlayabilmektedir.

4. SONUÇ

Çalışma, Ertemler Zeytinyağı Fabrikası'nın müzeye dönüşümünde temel mimari karakterin, üretim hacimlerinin ve bazı özgün üretim izlerinin büyük ölçüde korunarak yeni işleve taşındığını göstermektedir. Müze kullanımının mekânsal yapıyla uyumu ve çağdaş müdahalelerin tarihî dokudan ayırt edilebilirliği dönüşümün güçlü yönleridir. Buna karşılık üretim süreçleri, emek tarihi ve Ayvalık'ın zeytinyağı kültürünün daha görünür yorumlanması temel geliştirme alanıdır.

Bulgular tekil bir vakaya ve gözlemsel verilere dayandığından çalışmanın doğrudan genellenebilirliği sınırlıdır. Önerilen dört boyutlu matris, benzer tarımsal endüstri mirası yapılarının uygulama sonrası değerlendirilmesi için yalın bir çerçeve sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda ziyaretçi algısı, yerel paydaş görüşleri ve uzun dönemli kullanım performansının bu çerçeveye eklenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Arfa, F. H., Zijlstra, H., Lubelli, B., & Quist, W. J. (2022). Adaptive reuse of heritage buildings: From a literature review to a model of practice. *The Historic Environment: Policy & Practice*, 13(2), 148–170. <https://doi.org/10.1080/17567505.2022.2058551>
- Çakır, H. Y., & Edis, E. (2022). A database approach to examine the relation between function and interventions in the adaptive reuse of industrial heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 58, 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.015>
- ICOMOS, & TICCIH. (2011). Joint ICOMOS–TICCIH principles for the conservation of industrial heritage sites, structures, areas and landscapes (The Dublin Principles). ICOMOS.
- Lanz, F., & Pendlebury, J. (2022). Adaptive reuse: A critical review. *The Journal of Architecture*, 27(2–3), 441–462. <https://doi.org/10.1080/13602365.2022.2105381>
- Luo, L., & Cao, Y. (2023). The museum method of reusing Shanghai waterfront industrial heritage: Continuation and reconstruction of urban memory. *Built Heritage*, 7, 23. <https://doi.org/10.1186/s43238-023-00102-3>
- Mısırlısoy, D., & Günçe, K. (2016). Adaptive reuse strategies for heritage buildings: A holistic approach. *Sustainable Cities and Society*, 26, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.017>
- Rahmi M. Koç Müzesi. (t.y.). Binalarımızın tarihçesi: Ayvalık. <https://rmk-museum.org.tr/ayvalik/hakkimizda/binalarimizin-tarihcesi>
- Şener, İ. E., & Eldek Güner, H. (2025). Ayvalık örneğinde zeytinyağı endüstrisinin mimari ve kültürel mirası. *Kültürel Mirasın Tarihi ve Korunması*, 1(1), 63–74. <https://izlik.org/JA25SY42WM>
- TICCIH. (2003). The Nizhny Tagil Charter for the Industrial Heritage. The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage.
- UNESCO World Heritage Centre. (2017). Ayvalık Industrial Landscape. <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/6243/>
- Vafaie, F., Remøy, H., & Gruis, V. (2023). Adaptive reuse of heritage buildings; a systematic literature review of success factors. *Habitat International*, 142, 102926. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102926>
- Vafaie, F., Remøy, H., & Gruis, V. (2025). From theory to practice: Evaluating success factors of adaptive reuse through a case study. *Built Environment Project and Asset Management*, 15(3), 432–449. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2023-0236>

- Vardopoulos, I. (2022). Industrial building adaptive reuse for museum. Factors affecting visitors' perceptions of the sustainable urban development potential. *Building and Environment*, 222, 109391. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109391>
- Yıldız, G., & Şahin Güçhan, N. (2018). An industrial heritage case study in Ayvalık: Ertem Olive Oil Factory. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 2(3), 20–30. <https://doi.org/10.25034/ijcua.2018.4715>
- Yıldız, G., & Şahin Güçhan, N. (2023). Rethinking the industrial heritage of Ayvalik through trajectories on extracting olive oil and soap making. *Space and Culture*, 26(4), 522–542. <https://doi.org/10.1177/1206331220962730>

EĞİTİM FELSEFE VE OYUN

Prof. Dr. Hüseyin KOTAMAN

Harran University, Faculty of Education, Department of Primary Education, Marin Karayolu

18 Km Osmanbey Yerleşkesi Şanlıurfa/Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-6727-3308

Özet

Bu çalışmanın amacı, oyunun çocukların öğrenme ve gelişimindeki işlevini, çocuğun içsel süreçlerinin harekete geçmesi ve girişimde bulunması bağlamında ele almak ve bu doğrultuda öğretmenlerin oyun sürecindeki rolünü ortaya koymaktır. Çalışmada oyun, yalnızca çocukların zaman geçirdiği veya eğlendiği bir etkinlik olarak değil, çocuğun kendinde var olan potansiyeli ortaya çıkarabilmesi için güvenli bir ortam ve uygun düzeyde belirsizlik sağlayan doğal bir öğrenme alanı olarak değerlendirilmektedir. Öğrenme ve gelişimin gerçekleşebilmesi için çocuğun etkin bir biçimde sürece katılması, girişimde bulunması ve kendi deneyimlerine anlam katması gerekmektedir. Oyun, gönüllü ve eğlenceli yapısı sayesinde çocuğun içsel güdülenmesini desteklemekte; aynı zamanda davranışların önceden bütünüyle belirlenmediği bir ortam sağlayarak çocuğun düşünmesini, denemesini, problem çözmesini ve çaba göstermesini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle oyun, çocuğun gelişimi açısından uygun bir belirsizlik alanı oluşturmaktadır. Bu yaklaşım öğretmenlerin temel görevinin çocukların oyunlarını yönetmek veya oyunda ne yapacaklarını belirlemek değil, oyunun gelişimsel açıdan zenginleşmesini sağlayacak koşulları oluşturmak olduğunu göstermektedir. Öğretmenler güvenli ve olumlu sınıf ortamları hazırlamalı, çocukların oyunlarına değer vermeli, gerektiğinde oyuna yeni materyaller, roller veya problemler eklemeli ve çocukların düşüncelerini destekleyen sorular yöneltilmelidir. Bununla birlikte öğretmen, çocuğun yerine işi yapan kişi olmaktan kaçınmalı ve oyunun merkezine kendisini yerleştirmemelidir. Bu yaklaşım, öğretmenlere çocukların oyunlarını daha bilinçli biçimde gözlemleme, destekleme ve çocukların öğrenme ve gelişim süreçlerini oyun üzerinden değerlendirme konusunda işlevsel bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Oyun, iç süreç, kendiliğindenlik, eğitim felsefesi, öğretmen gelişimi.

EDUCATION PHILOSOPHY AND PLAY

Abstract

This study aims to examine the role of play in children's learning and development from the perspective of children's internal processes and their engagement in initiative-taking, and to discuss the role of teachers in supporting children's play accordingly. In this framework, play is considered not merely as an activity through which children spend time or have fun, but as a natural learning context that provides children with a safe environment and an appropriate degree of uncertainty through which they can reveal their potential. Learning and development require children to actively participate in the process, take initiative, and make meaning of their own experiences. Because play is voluntary and enjoyable, it supports children's intrinsic motivation while also providing an environment in which actions and outcomes are not completely predetermined. This allows children to think, experiment, solve problems, and make an effort. In this respect, play provides an appropriate zone of uncertainty that supports children's development. This perspective suggests that teachers' primary role is not to direct children's play or determine what children should do, but to create conditions that enrich play

in developmentally meaningful ways. Teachers should establish safe and positive classroom environments, demonstrate that they value children's play, and, when appropriate, enrich play by introducing new materials, roles, or problems and by asking questions that encourage children to think in different ways. At the same time, teachers should avoid doing things for children and should not place themselves at the center of play. This approach provides teachers with a practical framework for observing and supporting children's play more intentionally and for using play as a context for understanding and supporting children's learning and development.

Keywords: Play, internal processes, spontaneity, philosophy of education, teacher development.

Toprakta bir elma tohumunu düşünüyüm. Bu elma tohumu elmaya dair her şeyi gizil olarak içinde barındırır. Elma ağacının kökleri, gövdesi, dalları, yaprakları, çiçekleri ve meyvesi elma tohumunun içinde gizil olarak vardır. Elma tohumunun kendinde gizil olarak barındırdığı bu özelliklerin ortaya çıkması gerekmektedir. Bunların ortaya çıkabilmesi için elma tohumunun açılabilmesi gerekir. Tohumun açılması kendisi olması demektir. Elma tohumu elma ağacı olup elma verdiğinde kendi gereğini yerine getirmiş olur. Böylece kendisi olur. Bu süreçte eğer tohum toprak olursa o zaman çürür. Eğer toprak tohuma hiç etki edemez ise o zaman da tohum olduğu gibi kalır. Tohum topraktakini kendine katar, toprak da tohumdakini kendine katar. Böylece özne nesne bütünleşmesi olur ve büyüme gerçekleşir (Özbek & Kotaman, 2008; Özbek & Kotaman, 2020; Kotaman, 2019). Örneği basit ve anlaşılır olması için bitki üzerinden verdim. Bu nedenle gelişimden değil büyümeden bahsediyorum. Bütün bu süreç içerisinde en dikkat edilmesi gereken unsur belirleyici olanın elma tohumu olduğu gerçeğidir. Örneğimizde belirleyici olan elma tohumudur. Çünkü dünyanın en verimli toprağına, en uygun güneşine ve yağmuruna, en iyi tarım ilaçlarına da sahip olsanız eğer toprakta tohum yoksa hiçbir şey açmaz. İşte bu nedenle gelişim için öğrenme için belirleyici olan iç süreçtir. Eğitimde en önemli unsur iç süreci harekete geçirebilmektir (Özbek & Kotaman, 2008; Özbek & Kotaman, 2020; Kotaman, 2019; Kotaman, 2022).

Elbette bebekler ve çocuklar elmalardan farklıdırlar. Fakat onlar da insanın öz halidirler. İnsana dair her şeyi gizil olarak barındırırlar. Bebeğin kendinde var olan insani özelliklerini ortaya çıkararak kendisi olması gerekmektedir. Bir elma tohumu elma ağacı olduğundan kendini gereğini yerine getirir, bir insan yavrusu da yetişkin ve gelişmiş bir insan olduğunda kendi gereğini yerine getirmiş olur. Burada elma ve insan yavrusu arasındaki fark gelişimdir. Elma tohumu ancak içinden çıktığı elma olabilir. Burada kısır döngüsel bir sonsuzluk vardır. Sürekli kendini tekrar eder. İnsan yavrusu ise gelişir (Özbek & Kotaman, 2008; Özbek & Kotaman, 2020; Kotaman, 2018; Kotaman, 2023). Örneğin okuma yazma bilmeyen bir kişinin çocuğu öğretmen, doktor olabilir. Çocuğun gelişebilmesi öğrenmesine bağlıdır. Öğrenmek kişinin kendinde olanı kendinin yapmasıdır. Çocuğun insanın özü, tohumu olduğunu söyledik. Bu nedenle tıpkı elma tohumunun gizil olarak elmanın unsurlarını bünyesinde barındırması gibi çocuk da insani özellikleri gizil olarak bünyesinde barındırır. Örneğin müzik becerisi her insanda vardır. Çocuğun müzik aleti çalabilmesi için buna dair bir isteğinin oluşması sonra da girişimde bulunması gerekir. Çünkü yukarıda da belirttiğim gibi öğrenmede ve gelişmede belirleyici olan iç süreçtir. Çocuğun girişimde bulunması iç sürecin harekete geçmesidir. Örneğin çocuğun eline bir müzik aleti olarak onunla oynamaya başlaması bir girişimdir. İlk adım atılmıştır. Artık çocuk o müzik aleti üzerinde ne kadar çalışırsa kendinde var olan müzik

yeteneğini o kadar ortaya çıkarır böylece gizil olarak var olan ve çocuğun farkında olmadığı bu beceri artık çocuğun olmuş olur. Yani çocuk kendinde olanı, kendinin yapmıştır.

Gördüğümüz gibi öğrenmek ve gelişim için iç sürecin harekete geçmesi yani çocuğun girişimde bulunması gerekir (Kotaman, 2023). Girişimde bulunabilmek için öncelikle güvenli bir ortam gerekmektedir. Belirsizliğin ve tehlikenin çok fazla olduğu durumlarda girişimde bulunmaya çekiniz. Örneğin sürekli krizler yaşanan bir ekonomik ortamda insanlar kolay kolay iş kurmazlar. Çünkü geleceğe dair öngöründe bulunmak çok zor olduğu için alacakları risk çok yüksektir. Yürümeye çalışan bir çocuğu düşünelim eğer çocuk cam kırıkları, kesici aletlerin her yerde olduğu bir ortamda ise o zaman yürümek için girişimde bulunmaktan büyük olasılıkla çekinecektir (Kotaman 2019; 2020). Çünkü girişiminin sonucunu kestirememektedir. Öte yandan her şeyin belirli olduğu bir ortamda da girişimde bulunmanın bir anlamı yoktur. Çünkü kişinin kendinden katabileceği hiçbir şey yoktur. Bu durum kişiyi kolaycılığa ve tembelliğe itebilir (Kotaman 2019; 2020). Örneğin esnaf çocuklarının genellikle babalarının işlerini yaptıklarını görüyoruz. Bu çocuklar çoğu zaman yüksek öğrenim görememektedirler. İş hazırdır, yapacakları da belirlidir. Kendilerinden çok fazla bir şey katmaları gerekmeksizin yaşamlarını kazanma olanakları vardır. Oyun açısından örnek verecek olursak her şeyi kendisi yapan oyuncakları örnek gösterebiliriz. Örneğin ses çıkaran, ışık saçan, dönen robot oyuncaklar başlangıçta çok dikkat çekerler fakat ne yapacakları bellidir ve burada çocuğun dâhil olabileceği kendinden bir şey katabileceği bir belirsizlik alanı olmadığı için bu oyuncak çocuğun gelişimine hiçbir katkı sağlamaz. Çünkü çocuğa yapacak bir şey bırakmaz. Çocuğun ne girişimde bulunması ne de çaba göstermesini gerektirecek hiçbir alan yoktur. Çocuklar bu tür oyuncaklardan bir süre sonra sıkılırlar fakat bunların yerine benzerleri konursa çocuk sıkıldıkça zapping yapan televizyon izleyicisinden öteye geçemez. Bu nedenle çocuğun gelişebilmesi için girişimde bulunabileceği uygun bir belirsizlik alanı olması gerekir.

Oyunun çocuğun doğal etkinliği olduğu belirtilmiştir. Oyun gönüllü, zevkli, sembolik, kurallı ve dönemsel bir etkinliktir (Uluğ, 1997). Bu özellikleri doğrultusunda oyunu sonucu önceden bilinmeyen, dışarıdan dayatma olmadan yapılan, sembolik ve eğlenceli etkinlikler olarak tanımlayabiliriz. Tanım doğrultusunda oyunun çocuğun gelişimi için ideal bir ortam yarattığını ortaya çıkmaktadır.

Çeşitli araştırmacılar oyunu gelişimin ve öğrenmenin en önemli araçlarından biri olduğunu öne sürmektedirler (Al-Barakat et al., 2025; Işık & Kaban, 2025; Sarifah et al., 2025). Oyun temelli öğretim yöntemlerinin kullanılmasının çocukların matematik öğrenmelerini kolaylaştırdığı belirlenmiştir (Işık & Kaban, 2025; Sarifah et al., 2025). Bununla birlikte oyunun uzaysal yönelimden, dengeye, nedenselliğin ve soyut düşünme becerilerinin gelişmesine kadar pek çok gelişim alanına katkı yaptığı bilinmektedir (Austin, 2012; Bartholomew & Jowers, 2011; Vygotsky, 1978; Zhu et al. 2024).

Oyunu öğrenme ve gelişim için bu kadar etkili hale getiren unsurlar nelerdir? Oyun gönüllü bir etkinlik olduğu için iç süreci harekete geçirir. Böylece güdülenme sorunu ortadan kalkar. Çocuklar genellikle saatlerce ders çalışmazlar fakat saatlerce oyun oynayabilirler.

Bunun ötesinde oyun çocuğun girişimi için güvenli bir ortam ve uygun belirsizlik sağlar. Oyun sırasında çocuğun soyutlama yapması gerektiği için de bilişsel olarak çaba harcamak ve konuyu kendine katma zorunluluğu vardır. Böylece çocuğun gelişimi için uygun ortamı oluşturur (Berk & Winsler, 1995; Bodrova & Leong, 1996). Konuyu bir örnek ile açıklayayım. Evcilik oyununda çocukların çay içtiklerini düşünelim. Çocuklar normalde çay yapmaya kalksalar bu onlar için çok tehlikeli olabilir. Bu nedenle büyük olasılıkla yetişkinler tarafından engellenirler. Yetişkinler tarafından engellenmeseler bile sıcak çaydanlığı taşıyamamaları gibi nedenlerden

oluşacak kazalar çocuklarda travmatik deneyimlere neden olabilir. Oysa evcilik oyununda çay içiyormuş gibi yapıldığı için kaynar suyun neden olabileceği tehlikeler söz konusu değildir. Böylece çocuğun girişimde bulunması yani oyunu oynaması için gerekli olan güven ortamı sağlanmış olur.

Bunun yanı sıra çocuğun oyun sırasında yapacağı bütün davranışlar belli değildir. Çocuk bir davranışta bulunur, birlikte oynadığı arkadaşı çocuğun davranışı doğrultusunda başka bir davranışta bulunur. Yani oyun sırasında oyuncuların davranışları birbirlerinin davranışlarının nasıl gelişeceği üzerinde etkide bulunur. Bu etkileşim oyuncuların birbirlerinin isteklerini istemeleri sayesinde gelişirse oyun gitgide zenginleşir ve bütün çocuklar böylece birbirlerini ileri çekerler. Oyun sırasında oyuncuların davranışları birbirlerini karşılıklı olarak belirlediği için her davranış önceden belirlenmiş değildir. Yani oyun sırasında gelişim için gerekli olan uygun düzeyde belirsizlik vardır. Bu nedenlerden dolayı oyun çocuğun gelişimi için en uygun ortamlardan biridir (Karpov, & Haywood, 1998; Vygotsky, 1978).

Öğretmenler ve ana-babalar çocukların oyunlarının zenginleşmesine katkıda bulunarak çocukların gelişimlerini destekleyebilirler. Bunun için öncelikle çocukların özelliklerini bilmek gerekmektedir. Çünkü oyun sırasında çocuktan beklentiler çocuğun yapabileceklerinin çok üstünde olursa yetişkinin oyuna müdahalesi geliştirici değil, aksine engelleyici olur. Yetişkin çocukların güvenle oyun oynayabilecekleri ortamları hazırlamalıdır. Çocukların kendi yaşlıları ile bir araya gelmeleri sağlamak da oyunun zenginleşmesine hizmet edecektir (Kotaman, 2018). Yetişkinlere çocukların oyunlarını zenginleştirme noktasında rehberlik edecek ilke; çocuğun işini çocuğun elinden almamaktır. Yetişkin oyunda ana unsur olmamalıdır. Oyunda emirler veren, neyin nasıl yapılacağını dikte eden kişi olmamalıdır. Öneriler getirebilir, çocuklar arasında çıkabilecek olası sorunları ön görerek önceden önlem alabilir ama oyunda ana unsur olmamalıdır. Eğer ana unsur olursa oyunu çocukların elinden almış olur.

Yetişkinler oyunun zenginleştirmek için çocuklara güçlükler çıkarabilirler, çocukların farklı şekillerde düşünmelerini sağlayacak sorular sorabilirler. Örneğin bir arabayı eline alıp aynı yerde ileri geri oynatıp duran bir çocuğa, “bu araba nereye gidiyor?” diye sorulabilir. Aynı arabanın önüne fiziki bir engel çıkarılabilir böylece çocuk engelli aşmak için harekete geçmek durumunda kalır. Bu da yeni bir girişim demektir. Son olarak yetişkinler çocuklarla oyunları hakkında konuşarak çocukların kendilerine dışarıdan bakabilme becerilerin geliştirmelerine katkıda bulunabilirler.

Özetle öğretmenin oyun süreci ile ilgili görevleri şunlardır:

1. Uygun ortamı hazırlamak.
 - a. Çocukların kendilerini güven içinde hissedebilecekleri fizik bir ortam hazırlamak.
 - b. Sınıf içinde olumlu atmosfer yaratmak. Böylece çocuk sadece fiziksel olarak güvenilir bir ortamda olmanın ötesinde duygusal olarak da kendini güvende hissedecektir. Yaptığı davranışlar sonucunda arkadaşları tarafından küçük düşürülmeyeceğini, onlar tarafından saldırıya uğramayacağını aksine destekleneceğini bilen çocuk kendini güvende hisseder. Kendini güvende hisseden çocuk da daha girişken olur (Karpov, & Haywood, 1998; Vygotsky, 1978).
- i. Olumlu sınıf atmosferi yaratmak için öğretmenin özellikle eğitim yılı başlangıcında çocukların birbirlerini tanımalarına yönelik oyunlara ağırlık vermesi iyi olur.
- ii. Ayrıca çocukların birbirlerini desteklemelerine yönelik oyunlarla da danışmayı arttırabileceği için olumlu sınıf ortamı yaratmak için kullanılabilir.

2. Çocukların oyunlarına değer verdiğini göstermeli. Bazen öğretmenin yalnızca bir kenarda çocukların oyunlarını gözlemlemesi bile çocukları destekleyen bir davranıştır.
3. Çocukların oyunlarını kademeli olarak zenginleştirmelidir. Eğer çocuklar sürekli bir tekrara girmişlerse öğretmen burada sağladığı destek ile çocukların daha farklı düşünmelerine yardımcı olabilir (Berk & Winsler, 1995; Bodrova & Leong, 1996). Bununla ilgili örnekler yukarıda verilmiştir. Öğretmen oyunu zenginleştirmek için şunları yapabilir:
 - a. Oyunda rol alabilirler.
 - b. Oyun ortamına yeni bir eşya taşıyabilir. Böylece çocukların bu eşya ile ilgili düşünmelerini, konuşmalarını sağlayabilir.
 - c. Oyun sırasında çocuklara çözmeleri gereken sorunlar çıkarabilir.
 - d. Çocukları gezilere götürebilir. İtfaiye, polis, postane gibi yerlere yapılan geziler oyunu zenginleştirir.
 - e. Uzman kişileri çağırabilir. Onların sınıftaki sunumları oyunlara ilham kaynağı olabilir. Bir tesisatçının gelip suyun musluktan nasıl aktığını anlatması çocukların bununla ilgili oyunlar üretmelerine neden olabilir (Berk & Winsler, 1995; Bodrova & Leong, 1996; Karpov, & Haywood, 1998; Vygotsky, 1978).
4. Çocuklar arasında ortaya çıkabilecek sorunları engeller. Bu sorunların çözümleri için çocuklara destek olur.
5. Çocuklara birlikte oyun oynama konusunda yani iyi oyunculuk konusunda model oluşturur.
6. Bir oyuna nasıl katılabilecekleri konusunda çocuklara örnek olur. Oyuna katılma becerisinin temelinde oyunda eksik olanı belirleyip o rolü üstlenebilmek vardır.
7. Öğretmen çocukların oyunlarına dair kayıt tutup buradan elde ettiği bilgileri çocukların gelişimini değerlendirmede kullanabilir.

KAYNAKÇA

- Al-Barakat, A. A., El-Mneizel, A. F., Al-Qatawneh, S. S., AlAli, R. M., Aboud, Y. Z., & Ibrahim, N. A. H. (2025). Investigating the role of digital game applications in enhancing mathematical thinking skills in primary school mathematics students. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 132-146. DOI: 10.31181/dmame8120251301.
- Austin, A. M. (2021). Young children's mathematics references during free play in family childcare settings. *Early Child Development and Care*, 191(3), 414-426. <https://doi.org/10.1080/03004430.2019.1622535>
- Bartholomew, B. J., & Jowers, M. E. (2011). Physically active academic lessons in elementary children. *Preventive Medicine*, 52, 51-54. doi: 10.1016/j.ypmed.2011.01.017
- Berk, E. L., & Winsler, A. (1995). *Scaffolding children's learning: Vygotsky and early childhood education*. National Association for the Education of Young Children.
- Bodrova, E., & Leong, J. D. (1996). *Tools of the mind: The Vygotskian approach to early childhood education*. Prentice Hall, New Jersey.
- Işık, H. K., & Kaban, A. L. (2025). The effects of educational digital escape games on achievement and motivation in Mathematics courses. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 8(1), 136-151. DOI: 10.31681/jetol.1603015
- Karpov, V. Y., & Haywood, H. C. (1998). Two Ways to Elaborate Vygotsky's Concept of Mediation: Implications for Instruction. *American Psychologist*, 53, pp. 27-36.
- Kotaman, H. (2023). *Öğrenme psikolojisi*. Doruk yayıncılık.
- Kotaman, H. & Özbek Ö. (2020). *Eğitim felsefesi ve özgürlük*. İstanbul: Doruk yayınları.
- Kotaman, H. (2019). *Özgür çocuk özgür insan*. İstanbul: Doruk Yayınları.

- Özbek, Ö., & Kotaman, H. (2011). *Önce aklımızı sonra çocuklarımızın sütünü çaldılar*. Yaba yayınları.
- Sarifah, I., Muhajir, A., Marini, A., Yarmi, G., Safitri, D., & Dewiyani, L. (2025). Mobile games and learning interest: For fifth graders in mathematics. *Journal of Education and Learning* 19(1), 151-157. **DOI: 10.11591/edulearn.v19i1.21118**
- Uluğ, O. M. (1997). *Niçin oyun?* İstanbul:Göçebe Yayınları.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society the development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard College.
- Zhu, W. et al. (2024). Nature and success: Outdoor play is linked to school readiness. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 57, 101895. **DOI: 10.1016/j.ctcp.2024.101895**

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK EĞİTİMİ

Prof. Dr. Hüseyin KOTAMAN

Harran Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim Bölümü, Şanlıurfa-Mardin Karayolu

Üzeri 18.Km Şanlıurfa/Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-6727-3308

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilirlik eğitimi yalnızca çevreyi korumaya yönelik bilgi, tutum ve davranışların kazandırılması olarak ele almak yerine, insanın doğayla kurduğu ilişkinin düşünsel temelleri üzerinden yeniden değerlendirmektir. Çalışmada, günümüzde yaşanan çevresel sorunların yalnızca bireysel davranışlarla açıklanamayacağı; insanı doğadan bağımsız, doğayı ise insanın ihtiyaçlarını karşılayan bir kaynak olarak gören anlayışların sürdürülebilirliğin önündeki temel engellerden biri olduğu ileri sürülmektedir. İnsan-doğa ilişkisinin tarihsel olarak nasıl biçimlendiği ele alınarak Aydınlanma düşüncesi, insan merkezilik, bireycilik ve faydacılık ile kapitalist üretim anlayışı arasındaki ilişkiler tartışılmaktadır. Bu çerçevede doğanın insanın kullanımına sunulmuş bir kaynak olarak görülmesinin, sınırsız üretim ve tüketim anlayışını desteklediği ve çevresel sorunların ortaya çıkmasında önemli bir rol oynadığı savunulmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilirlik eğitiminin yalnızca “çevreyi kirletmeme”, “su ve elektriği tasarruflu kullanma” gibi davranışsal önerilerle sınırlandırılması yeterli değildir. Sürdürülebilir bir yaşam anlayışının oluşturulmasında öğretmenlerin merkezi bir role sahip olduğu düşünülmektedir. Öğretmenlerin öncelikle insanın doğadaki yerini bilimsel açıdan anlamaları; insanın doğadan bağımsız olmadığı, doğanın insan olmadan da varlığını sürdürebileceği ve canlı-cansız bütün unsurların birbirleriyle ilişkili olduğu anlayışını benimsemeleri gerekmektedir. Bu doğrultuda öğretmen eğitiminin evrim, temel doğa bilimleri, bilimsel ve matematiksel düşünme gibi alanlarla desteklenmesi önerilmektedir. Böyle bir eğitim, öğretmenlerin sürdürülebilirliği yüzeysel çevre davranışlarının ötesinde, insanın doğayla ilişkisini yeniden düşünmesini gerektiren bütüncül bir yaşam anlayışı olarak ele almalarına katkı sağlayabilir.

Anahtar Sözcükler: Sürdürülebilirlik eğitimi, insan-doğa ilişkisi, insanmerkezcilik, öğretmen eğitimi, bilimsel düşünme.

SUSTAINABILITY EDUCATION

ABSTRACT

This study aims to reconsider sustainability education not merely as the acquisition of knowledge, attitudes, and behaviors aimed at protecting the environment, but in terms of the intellectual foundations of the relationship between humans and nature. The study argues that contemporary environmental problems cannot be explained solely through individual behaviors and that perspectives which regard humans as independent from nature and nature as a resource serving human needs constitute one of the fundamental barriers to sustainability. The study examines how the human–nature relationship has been historically shaped by discussing the connections among Enlightenment thought, anthropocentrism, individualism, utilitarianism, and capitalist production. From this perspective, it is argued that viewing nature primarily as a resource for human use has supported patterns of unlimited production and consumption and has contributed to environmental degradation. Therefore, sustainability education should not be

limited to behavioral recommendations such as avoiding littering or saving water and electricity. Teachers are considered to have a central role in developing a sustainable way of life. Teacher education should first enable teachers to understand the place of humans within nature from a scientific perspective and to recognize that humans are not independent of nature, that nature can exist without humans, and that living and non-living elements are interconnected. Accordingly, teacher education should be supported by evolutionary theory, basic natural sciences, and scientific and mathematical thinking. Such an approach may help teachers understand sustainability not as a set of superficial environmental behaviors, but as a holistic way of living that requires a fundamental reconsideration of the relationship between humans and nature.

Keywords: Sustainability education, human–nature relationship, anthropocentrism, teacher education, scientific thinking.

Bütün insanlığın geleceği açısından düşünüldüğünde en önemli ortak sorunumuzun doğaya verilen zarar olduğunu düşünüyorum. Çevre sorunu aslında biraz geniş ölçekten bakıldığında diğer bütün sorunlardan daha önemlidir çünkü yeterli oksijen, su ve toprak olmadan hem insan olarak bizler hem de doğadaki pek çok canlı varlıklarını sürdürmezler. Çeşitli uluslararası kuruluşlar da on yıllardır bu sorunlara dikkat çekmeye ve bu sorunlarla ilgili bütün insanlığın dayanışma sergilemesi, ortak bir anlayışla davranması için çağrılarda bulunmaktadır (UNCED 1992; Rio, 1992; Kyoto, 1999). Bu çağrılar doğrultusunda Rio 2012 Dünya'daki bütün ülkeler tarafından imzalanmıştır (Oberthur & Ott, 1999; UN, 1992; UN, 2012). Yaşamın sürdürülebilirliğini sağlamak için eğitime ne kadar önemli görevler düştüğü de yine bu uluslararası belgelerde ifade edilmiştir (Oberthur & Ott, 1999; UN, 1992; UN, 2012).

İnsanların sadece doğal yaşamı deneyimleri sürdürülebilirlik için yeterli olmayabilir. Çünkü doğa ile çağdaş insandan çok daha iç içe yaşayan bazı kabileler doğaya büyük zararlar verebilmektedir. Örneğin insanlar geldikten sonra Kuzey Amerika'daki büyük memelilerin %73'ünün, Güney Amerika'dakilerin %80'inin, Avustralya'dakilerin %86'sının yok olduğu belirlenmiştir. Burada bahsedilenler Avrupalı sömürgeciler değil oraların yerlileri olarak kabul edilen insanlardır (Diamond, 2016). Yine ilginç bir bilgi Paskalya Adasında şeflerin büyüklüklerini kanıtlamak için dev heykeller yaptırma yarışına girdikleri biliniyor. Ahu adı verilen bu dev heykellerin yapımında çalıştıracak işçileri doyurmak için gıda ihtiyacı %25 artıyor, taşıma için gereken keresteyi karşılamak adına ağaçları kesiyorlar, çevreye zarar veriyorlar. Reisler arasında yarışa dönen bu durum büyük bir kaynak israfına yol açıyor sonunda toplum kısıtlı kaynakların hemen hepsini tüketiyor. Böylece kendini de tüketmiş oluyor. Devesa heykeller dikeyyorlar. Bunu vinç filan olmadan yapıyorlar. Nüfus da fazla değil kanolardan yapılan bir kaydırma sistemi ve 50-500 kişinin çalışması sayesinde gerçekleştiriyorlar. Ormanlarında dünyanın en büyük çamları yetişiyor. Fakat çevreyi o kadar talan ediyorlar ve sömürüyorlar ki geriye ağaç kalmıyor. Kano filan yapamayınca deniz canlılarını da avlayamıyorlar. Kuşları öldürüyorlar. Onlar da bitiyor. Ne varsa yiyorlar sonunda insan yemeye başlıyorlar. Büyük daha büyük heykeller dikerek sıkıntılarından kurtulmak için atalarından yardım istiyorlar. Yani din sayesinde kurtulmak istiyorlar. Fakat çare olmuyor (Diamond, 2016).

Yukarıdaki örnekler geleceği ön görebilen ve ona göre değer, tutum ve davranışlar geliştirecek insanlar yetiştirmesek insanoğlunun dışarıdan bir etkene gerek duymadan kendi sonunu getirebileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle çevre konusunda doğru tutum, değer ve davranışlara sahip insanlar yetiştirmek zorundayız. Geleceği öngörüsü olan, yapılan davranışların nelere yol açabileceğini en azından belli olasılıklar içinde değerlendirebilen

insanlar yetiştirmek zorundayız. Bu eğitimi sağlayabilmek için bizi bu noktaya getiren tarihsel sürecin anlaşılması gerektiğin düşünüyorum. Bunun yanı sıra çözüm olarak önerilen bazı eğitim modellerinin, insan yetiştirme ideallerinin neden işe yaramayacağını düşündüğümü de anlatacağım.

Aydınlatma Felsefesi İnsan Merkezilik ve Faydacılık

Avrupa İslam tarafından yutulmamak için yaklaşık bin yıldır bağlı bulunduğu din felsefesi dışında arayışlara girdi. Bu zorunluluk aydınlanma süreci olarak adlandırılan dönem için ivmelendirici oldu. Aydınlanma felsefesi antik Yunan felsefesi olarak adlandırılan düşünce yapısını inceleyerek insana dönüş yaptı. Descartes düşündüğü süre içerisinde düşünen bir benim yani düşünme işini yapan bir cogitomon olmasının zorunluluk olduğunu ortaya koyarak “Düşünüyorum o halde varım” diyerek yeni bir formül getirdi (Descartes, 2010). Bu formül insan aklının kesin bilgiye ulaşabileceğini duyuruyordu. İnsan akli düşünme sürecini doğru yönetebilirse gerçeğin bilgisine ulaşabilir (Kotaman, 2022). Böylece Feodal toplumda sadece tarlada çalışan ve doyma, barınma, üreme dışında etkinlik sergilemeyen bir varlık olan insan yeniden değerlendirilmiştir çünkü artık düşünerek gerçeğe ulaşabildiği ortaya çıkmıştır. Birey olarak insanın yok sayıldığı feodal toplumdan yeniden birey çıkarmak gerekiyordu. İnsan benliğine kavuşmalıydı ki isteyebilse, isteyebilse ki bu uğurda düşünsün, mücadele etsin ve gelişsin. İnsanın gelişebilmesi için isteğin bu Dünyaya yönlendirmek gerekiyordu. Bu nedenle her şey insan için düşüncesi aydınlanmanın egemen düşüncelerinden biri olmuştur (Özbek & Kotaman, 2011; 2020). Feodal düzende yok sayılan bireyin ortaya çıkması elbette insancıl bir gelişme aşamasıydı. Fakat her şeyin insan için olduğu anlayışı yararcılığı da beraberinde getiriyordu.

Aydınlanmanın bu faydacılığı ve bireyciliği burjuva üretim şekli olan kapitalizmin düşünsel temelini oluşturmuştur. Bu nedenle düşüncenin gelişiminin, gerçeğe ulaşmanın ve böylece özgürleşmenin toplumsal dayanışma sonucunda gerçekleştiği gerçeğine ulaşamamıştır. Yine de büyük bir özgürlük atılımı yaratmış ve Fransız devrimi ile eylemini bulmuştur. Hegel Fransız devrimini Avrupa feodalitesinin olumsuzlaması olarak tanımlarken bunu anlatmıştır (Özbek & Kotaman, 2011; 2020).

Aydınlanma ve onun eylemi olan devrimler ile birlikte insan düşünebilen, gerçeğe ulaşabilen, gelişebilen ve üretebilen bir varlık olarak algılanmaya başlanmıştır. Bunları yapabilmesi için insanın bireysel özgürlüklere sahip olması gerektiği gerçeği kavranmıştır. Bu alt yapı ile gelişen demokrasi anlayışında kişilerin arasında eşitsizlik yaratan doğuştan gelen ayrıcalıklar kaldırılmıştır. Böylece yasalar önünde bütün yurttaşlar eşit hale gelmişlerdir, bütün yurttaşlar gelişime olanağına, isteklerini gerçekleştirmek için çaba harcamaya hakları olan bireyler haline gelmişlerdir (Özbek & Kotaman, 2015).

Bireyin ortaya çıkması gerek düşünsel olarak, gerekse kapitalist üretim için zorunluydu. Kapitalist üretim özgür işçiye gereksinir. Özgür işçi bir yerden başka bir yere gidebilir ve başka başka yerlerde çalışabilir. Ekonomik olarak yaşamını kazanmak dışında bir bağımlılığı yoktur. Bu sayede burjuvazi feodal beyin aksine işçiye barınak ve gıda sağlamak zorunda değildir. İşçi doğru düriüst barınamayacağı, yeterince beslenemeyeceği ücretlerle bile çalıştırılabilir çünkü çalışmama hakkı vardır. İşçinin özgürlüğü burjuvanın da özgürlüğüdür çünkü bu sayede işçiler arasındaki rekabeti kullanarak iş gücünü ucuzlatabilmiştir. Kapitalist üretim açısından işçilerin birleşmemesi yani tek tek bireyler olması da önemliydi çünkü birleşen işçiler haklarını arttırabiliyorlardı. Bu da bireysel özgürlük düşüncesinin gelişmesine alt yapı oluşturmuştur. Bunun yanı sıra birey aynı zamanda kapitalist sistemin ürünlerinin alıcısıdır. Bireyin kendi istekleri olabilmelidir ki kapitalist üretim ürettiklerini satabilsin. Örneğin, yılda kendisine iki defa efendisi tarafından giysi verilen bunun dışında giysi edinme hakkı olmayan bir kölelerden oluşan bir toplum kapitalizmin

yaşayamayacağı bir toplumdur. Üretimin kar getirebilmesi için bireyin isteğinin sürekli kışkırtılması gerekmektedir. Bu da bireyin isteklerinin düzenlenmesi gerektiğine ilişkin her söylemin özgürlüğü kısıtlayıcı engeller olarak damgalanmasına neden olmuştur (Özbek & Kotaman, 2011; 2015).

Bilgiye ulaşma yolunda Descartes'in Kartezyen yöntemi de uygulandı. Bu da parçalayarak bilgiye ulaşma anlayışının alt yapısı oldu diye düşünüyorum. Bütün bütün halinde anlamak ve onun bilgisine ulaşmak zordur. Bu nedenle küçük parçalara ayırarak daha kolay olan parçanın bilgisine ulaşılması ve parçanın bilgisi ile bütüne ulaşmaya çalışılmıştır. Bu da sanayi devriminde Fordist sistemin ortaya çıkmasının temel anlayışlarından biridir. Pek çok emek parça parça bir araya gelerek bir şey üretmeye başladı. Bu yapı da yararcılığı besledi çünkü insanlar bir maddenin sadece bir özelliğini bilip, sadece ona hakim olduğu zaman, başka kimsenin maddenin o özelliğini bilmesini istemez. Çünkü madde parçanın o özelliği bilinmeden oluşturulursa kendisi aç kalır. Yine sadece belli bir parçanın üretilmesi kitlesel üretime ve sanayi devrimine de öncülük etmiştir. Böylece Avrupa gitgide zenginleşmiştir. Sonuç olarak amaç parçayı en çok ve kusursuz şekilde üretmek en yüksek faydayı sağlamak olmuştur. Önemli olan, her şeyden en yüksek noktada yararlanmak en yüksek karı elde edebilmek olmuştur. Örneğin bilimdeki ilerleme silah sanayisinde kullanılmıştır. En çok silahı üretip satmak ve bundan en yüksek karı elde etmek amaç haline gelmiştir. Bunun olabilmesi için silah sanayi için pazarın büyütülmesi gerekmiştir. Silah insanları öldüren, yok eden, acılara neden olan bir şey değildir, o da diğer metalar gibi satılıp kar edilecek bir üründür olumlu veya olumsuz bir değeri yoktur. Bu anlayış nedeniyle 20. yüzyılda o güne kadar insanlık tarihinin görmediği yıkıcılıkta ve yokedicilikte savaşlar çıkmıştır. Bu süreçte doğaya çok önemli zararlar verilmiştir (Özbek & Kotaman, 2011; 2015; 2020; Kotaman, 2022)

Özetleyecek olursam aydınlanma düşüncesi bireyin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ortaya çıkan birey eksiklerini gidermek için istekte bulunmuştur. Bu isteklerin giderilmesinde doğa en önemli engellerden biri olarak görülmüştür. Kişinin eksiklerini giderecek bilgiye ulaşılmasında da parçalayıcı yöntem uygulanmıştır. Parçanın bilgisine ulaşarak parçanın kitlesel olarak üretilmesi ve bu sayede bireylerin isteklerinin karşılanabileceği düşüncesi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Parçanın en yüksek üretimi sayesinde bireylerin istekleri en yüksek düzeyde karşılanacaktır. Parçanın üretimi için ham madde sağlayıcısı olan doğa her türlü yöntem ile sömürülmüştür. Ayrıca pazarların genişletilmesi için de doğanın yarattığı ulaşım engelleri aşılmıştır. Burada da doğaya zarar vermekten kaçınılmamıştır. En önemli özgürlük kişinin tüketme özgürlüğü olarak ortaya konmuştur. Çünkü tüketme özgürlüğü bireyin isteklerini yerine getirebilme özgürlüğü olarak sunulmuş ve teşvik edilmiştir. İnsan bilgiye ulaşabilen en üstün varlık olduğu için de orta çağ dini yapısından çıkabilmek ve insanı yeniden değerli hale getirmek için kullanılan her şey insan içindir formülü, doğa insanın hammadde kaynağıdır haline getirilmiştir. Kapitalist sistemin sürülebilmesi için gerekli olan bir zihinsel anlayışın sürdürülebilirliğin en önemli engellerinden biri olduğunu düşünüyorum.

Sürdürülebilirliğin var olması ve yaşayabilmesi için bilimsel eğitimin gerekli olduğunu vurgulamıştım. Elbette bunun için de öğretmenler gerekir. Öğretmenlerimizin yukarıda bahsedilen süreci anlamaları gerektiğini düşünüyorum. Öğretmenlerimiz öncelikle kendilerini düşünsel olarak dönüştürmeli ve başka bir yaşam isteyebilecek düzeye gelmelidirler. Öğretmenlik bölümünde okuyan öğrenciler genellikle alt ya da alt-orta sınıflardan geliyorlar. Maaşa ulaşarak sosyal medyada gördükleri şeyleri kendileri de tüketebilmek istiyorlar. Yani aslında öğretmen olmayı istemelerindeki temel amaçlardan biri kapitalizmin onları tüketmeleri için kışkırttığı şeyleri tüketebilme isteğidir. Böyle bir yaşamsal amaç edinmiş kişinin öğretmenlik eğitimi sırasında iki kredilik sürdürülebilirlik dersi alarak çevreci anlayışı benimsemesinin çok mümkün olduğunu düşünüyorum. Özellikle bu derste yukarıda anlattığım tarihsel ve düşünsel

süreçler öğretmen adaylarına öğretilmez ve sadece çevremiz kirleniyor bunun sonu iyi değil, çevremizi kirlletmeyelim anlayışı ile eğitim verilirse böyle bir eğitimin yarar sağlayacağına inanmıyorum.

Bazıları kapitalist anlayışın dini düşünce yaşam tarzı ile aşılabileceğini öne sürmektedir. Oysa dini düşüncede doğa insan için yaratılmıştır. Sırası ile Tevrat, İncil ve Kurandan birkaç örnek vereyim: Genesis 1:26-28 "İnsanı kendi suretimizde yaratalım... Denizdeki balıklara, gökteki kuşlara, bütün yeryüzüne egemen olsun (The Holy Bible, Genesis 1:26-28, NRSVUE, 2021)." Korintliler 3:21-24 "Her şey sizindir... (The Holy Bible, Korint 3:21-24, NRSVUE, 2021)" Bakara 2:29 "Yeryüzünde bulunanların hepsini sizin için yaratan O'dur... (Kur'an, Bakara 2:29)" Lokman 31:20 "Allah'ın göklerde ve yerde bulunanları sizin hizmetinize verdiğini görmediniz mi? (Kur'an, Lokman 31:20)" Görüldüğü gibi bu dinlerde insan doğadan daha üstündür ve doğayı kendi yararı için kullanabilir. Bunun yanı sıra özellikle İslam dininde gerçek yaşam öte dünya yaşamıdır. Bu dünya gelip geçici bir yerdir. Yani sürdürülebilirliğin en ufak bir önemi ya da değeri olamaz çünkü zaten bu dünya adeta gerçek yaşam ile aramızda bir engeldir. Bu tür bir anlayış ile kapitalizmin üstesinden gelinebileceğini ve sürdürülebilirliği mümkün kılan bir yaşamın kurulabileceğini düşünmüyorum. Schultz ve ark. (2000) 13 ülkeden, 2160 üniversite öğrencisi ile yaptıkları kapsamlı araştırma da bu düşünceleri desteklemektedir. Araştırmalarında Kitab-ı Mukaddes'i her şeyi ile doğru kabul edenlerin, çevre konuları ile ilgili diğer katılımcılardan anlamlı düzeyde daha düşük puan almışlardır.

Yapılabilecekler

Çocuklara en temel olarak doğadan geldiğimizi öğretebilecek öğretmenler yetiştirmeliyiz. Bu nedenle hangi alandan olursa olsun öğretmenlerimizin evrim kuramını öğrenmeleri ve temel mekanizmalarının neler olduğunu anlamaları gerekiyor. Hatta fiziğin bazı temel yasalarını da örneğin enerjinin asla kaybolmadığını ama dönüştüğünü dolayısı ile ölen insanın doğada kaybolup doğa dışı bir yere gitmediğini ama canlı cansız diğer varlıklara dönüştüğünü öğretmenlerimiz bilmelidirler. Çocuklara Allah bizi yarattı anlayışı ile eğitim verirken burada çocuk zaten kendisinin canlı cansız bütün varlıklardan üstün olduğunu, onlara istediği her şeyi yapabileceği anlayışı ile büyüyebilir. Öncelikle bu anlayışın değişmesi gerekiyor.

Doğanın insan olmadan da var olabileceğini öğretmenlerimiz öğrenmeli ve öğrencilerine de öğretmelidirler. Öğretmenlerimiz insanın dünyayı kurtarması mümkün olmadığını bilmelidirler. Çünkü doğayı kendimiz için yaşanmaz hale getirirsek tür olarak ortadan kalkarız. Doğa yoluna devam eder. İnsan doğaya uygun davranmaya çalışarak kendi kendini kurtarmaya çalışmaktadır. Bu temel anlayış yerleşmezse diğer uygulamalar yüzeysel kalacaktır.

Öğretmenlerimizin doğanın ne olduğunu önce kendilerinin anlamaları ve öğrenmeleri gerekmektedir. Dağ, taş, dere nasıl oluştu bilimsel olarak bunlar nasıl açıklanıyor öğretmenlerimizin bu bilgileri özümsemeleri gerekir. Bunların insanlar için olmadığını, herhangi bir amaçlarının olmadığını öğretmenlerimizi öğrenmelidirler. Zaten öyle olsaydı üzerinde insana benzer hiçbir canlının olmadığı bu kadar gezegen olmazdı. Bununla birlikte evrim kuramı öğretilmelidir. Bu anlayış yerleşmeye başladıktan sonra kendi çevresindeki her şeyin yaşamın bir unsuru olduğunu anlamaları sağlanmalıdır. Bu temel anlayış olmadan, çöpleri yere atma, suyu açık bırakma, elektrik ışığını kapat diyerek ya da israf etme filan gibi dini yaklaşımlarla bir yere varılabileceğini sanmıyorum.

Öğretmenlerimizin yukarıda bahsettiğim anlayış doğrultusunda bilimsel eğitimden geçirilmeleri gerekmektedir. Böylece bilimsel olarak insanın ne olduğu, doğanın ne olduğu, insanın bu doğa içindeki yerinin ne olduğu öğrenmelidirler. Bilimsel anlayış zamanı da bütüncül kavradığı için ilk aklına geleni neden yapmamız gerektiğini bize gösterir. Örneğin,

elinde çöp varsa ilk eğilim çöpten kurtulmaktır yani onu yere atıp, oradan uzaklaşmaktır. Oysa mikroptan hızlı yol alamazsın. Orayı kirletirsen bakteri ürerse sen de hastalanırsın. Bunu düşünebilmek çoklu değişkenleri göz önünde bulundurabilmeyi gerektirir. Bu da bilimsel ve matematiksel düşüncenin desteklenmesi ile mümkündür. Bu temel anlayışı edindikten sonra öğretmenler bu anlayışa uygun ilkeleri yaşamına yansıtabilir.

Özetle sürdürülebilirlik canlı, cansız her şeyin birbiri ile ilişkili olduğunu öğretmektir. Dolayısı ile hiçbirimiz bu bütünün dışında olmadığımıza göre doğru dürüst davranmak hepimizin çıkarınadır.

KAYNAKÇA

Descartes, R. (2010). Yöntem üzerine konuşma. *İstanbul: Bulut Yayınları.*

Diamond, J. (2016). *Üçüncü şempanze. İnsan türünün evrimi ve geleceği.* İstanbul: Alfa Bilim yayın evi.

Diamond, J. (2006). *Çöküş. Medeniyetler nasıl ayakta kalır ya da yıkılır?* İstanbul: Timaş

Diyanet İşleri Başkanlığı. (2011). *Kur'an-ı Kerim meali.* Diyanet İşleri Başkanlığı Yayınları.

The Holy Bible, New Revised Standard Version Updated Edition. (2021). National Council of Churches.

Özbek, Ö., & Kotaman, H. (2011). *Önce aklımızı sonra çocuklarımızın sütünü çaldılar.* İstanbul: Özel Kitaplar.

Özbek, Ö., & Kotaman, H. (2015). *İnsan, doğa ve özgürlük.* İstanbul: Kora yayınları.

Özbek, Ö. & Kotaman, H. (2020). *Eğitim felsefesi ve özgürlük.* İstanbul: Doruk yayınları.

Kotaman, H. (2022). *Öğretmenler için eğitim felsefesi.* Doruk yayıncılık.

Schultz, P. W., Zelezny, L. C., & Dalrymple, N. J. (2000). A multinational perspective on the relation between Judeo-Christian religious beliefs and attitudes of environmental concern. *Environment and Behavior*, 32(4), 576–591. <https://doi.org/10.1177/00139160021972676>

TARIM TRAKTÖRLERİ İÇİN HIZLANDIRILMIŞ ÖMÜR TESTİNE YÖNELİK BİR TEST PARKURU ÖRNEĞİ

Furkan PEKTAŞ

TÜMOSAN Teknoloji Mühendislik Sanayi Ticaret A.Ş., 34025 Zeytinburnu, İstanbul

ORCID ID: 0009-0006-3975-061X

Ali Can TELLİOĞLU

TÜMOSAN Teknoloji Mühendislik Sanayi Ticaret A.Ş., 34025 Zeytinburnu, İstanbul

ORCID ID: 0000-0003-0181-0921

Aykut DANA

TÜMOSAN Teknoloji Mühendislik Sanayi Ticaret A.Ş., 34025 Zeytinburnu, İstanbul

ORCID ID: 0009-0000-9317-121X

ÖZET

Tarım traktörleri, saha koşullarında rastgele ve önceden tahmin edilmesi güç yapısal yüklere ve darbelere maruz kalmaktadır; bu yüklerin hızlandırılmış koşullarda simüle edilebildiği güvenilir ve tekrarlanabilir test yöntemlerinin geliştirilmesi, yapısal problemlerin önceden tespit edilmesi ve ürün ömrünün belirlenmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, tarım traktörlerinin zorlu saha koşullarında maruz kaldığı dinamik yüklerin simüle edilmesini sağlayan bütünleşik bir test parkuru oluşturulmuştur. Gerçek saha operasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak, traktörlerin maruz kaldığı yükleri belirli oranlarda büyüterek temsil eden farklı formlardaki fiziksel engeller, saha yüklerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Böylece, traktörlerin gerçek saha koşullarında karşılaştığı yüklerin kontrollü, tekrarlanabilir ve otonom bir şekilde simüle edilmesi sağlanmıştır. Test parkuru otomasyon sistemi; PLC kontrol cihazları, HMI arayüzleri ve endüstriyel haberleşme ağları kullanılarak geliştirilmiştir. Bu otomasyon sistemi; test parkuru fonksiyonlarını, gelişmiş güvenlik algoritmalarını ve olası acil durum senaryolarını yönetmektedir. Araç verileri ve test sistemi bilgileri gerçek zamanlı olarak çevrimiçi bir sunucuya aktarılmakta, bu sayede test verilerinin uzun süreli depolanması ve görselleştirilmesi sağlanmaktadır. Sonuç olarak, hayata geçirilen bu test parkurunun, traktör ömür ve dayanıklılık testlerinde operasyonel sürekliliği ve tekrarlanabilirliği önemli ölçüde artırdığı, insan müdahalesi ile genel maliyetleri ise azalttığı ortaya konulmuştur. Oluşturulan bu test parkuru, TÜMOSAN Motor ve Traktör A.Ş. Konya yerleşkesinde kurulu olup firmanın yeni ürün geliştirme, doğrulama ve test süreçlerinde aktif olarak kullanılmaktadır.

Keywords: Hızlandırılmış ömür testi, traktör test parkuru, tarım traktörü dayanıklılık testi, test otomasyon sistemi

AN EXAMPLE OF A TEST COURSE FOR ACCELERATED LIFE TESTING OF AGRICULTURAL TRACTORS

ABSTRACT

Agricultural tractors are subjected to random and largely unpredictable structural loads and shocks under field conditions. Therefore, the development of reliable and repeatable test methods capable of simulating these loads under accelerated conditions is of critical importance for the early detection of structural failures and the determination of product service life. In this study, an integrated test track was developed to simulate the dynamic loads encountered by

agricultural tractors under demanding field conditions. Using data obtained from real field operations, physical obstacles of various geometries were designed to represent the loads experienced by tractors at amplified magnitudes, reproducing field loading conditions. In this way, the loads encountered by tractors under real field conditions were simulated in a controlled, repeatable, and autonomous manner. The test track automation system was developed using PLC control units, HMI interfaces, and industrial communication networks. This automation system manages the test track functions, advanced safety algorithms, and potential emergency scenarios. Vehicle data and test system information are transmitted in real time to an online server, enabling long-term storage and visualization of the test data. As a result, it was demonstrated that this implemented test track significantly increases operational continuity and repeatability in tractor life and durability tests while reducing human intervention and overall costs. This test track is located at the TŪMOSAN Motor ve Traktör A.Ş. Konya facility and it is actively used in the company's new product development, validation, and testing processes.

Keywords: Accelerated life testing, tractor test track, agricultural tractor durability testing, test automation system

1. INTRODUCTION

The agricultural sector is one of the fields in which the harshest operating conditions are encountered in terms of the machinery and equipment used. Agricultural tractors are exposed to unpredictable, random, and varying-amplitude dynamic loads due to uneven terrain, variable soil resistance, and the use of different implements. Over time, such structural loads may lead to fatigue, deformation, and critical damage in the structural components of the tractor. These structural problems that may arise during product development processes are of critical importance for both product reliability and the determination of product service life.



Figure 1 - Example image from field testing

Although conventional field tests are valuable in terms of accurately representing actual operating conditions, they have various limitations, such as dependence on climatic conditions, operator errors, the inability to standardize test conditions, and high operational costs. In addition, long-duration field tests prolong new product development processes and adversely affect time to market. The most effective way to overcome these limitations is to use test tracks that enable dynamic data obtained from real field conditions to be simulated under accelerated, controlled, and repeatable conditions.

In this study, an integrated test track was developed to simulate the demanding field loads experienced by agricultural tractors in a controlled, repeatable, and human-independent manner. Within the scope of the study;

- **Field Data and Physical Obstacles:** Based on the analysis of datasets obtained from real field operations, specially shaped physical obstacles representing field loads at specified amplification levels were designed and integrated into the track.
- **Automation and Safety:** All functions of the test track, emergency scenarios, and safety

algorithms were automated using PLC control units, HMI interfaces, and industrial communication protocols.

- **Data Management:** Real-time data obtained from the vehicle and the test track are transferred to an online server, enabling long-term storage and real-time monitoring.

This test track, whose installation has been completed and which is actively used at the TŪMOSAN Motor and Tractor Inc. Konya facility, ensures repeatability in tractor life and durability tests while reducing manpower requirements and total validation costs.

2. LIFE EQUIVALENCE METHODOLOGY

A comprehensive methodology is used to correlate the mechanical wear and fatigue occurring on the test track with the service life of agricultural tractors under field conditions. This methodology is based on correlating real operational data obtained in the field with acceleration/strain outputs measured on the track within the framework of fatigue and cumulative damage theories. In this way, a relationship is established between the damage characteristics under random and uncertain field conditions and the obstacles on the test track (Miner, 1945).

The operational load spectrum of the tractor under actual field and severe road conditions (plowing, rotary tiller operation, transportation, etc.) is determined. Strain gauges and accelerometers are mounted at critical locations on the tractor chassis, front/rear axles, and other critical structural components where damage is likely to occur. Data are obtained from these sensors during both field and test-track operations. Damage and fatigue theories are used to establish correlations between the field studies and the obstacles of different geometries located on the test track. Software packages capable of performing these analyses are available and are frequently preferred in such studies.

3. TEST TRACK CONFIGURATION

Since the obstacles on the test track cause shocks and vibrations on the tractor, manual testing is not permitted. To overcome these limitations and ensure standardization in the test processes, the system was designed with an autonomous architecture. The physical configuration and operational approach of the developed system are structured around the following main components:

- **Geometry and Autonomous Operation:** The test system has a circular track with a radius of 15 meters. Through automatic engine starting, gear shifting, and driving control algorithms, the system operates safely without requiring a human driver.



Figure 2 - Test track

- **Physical Obstacles and Accelerated Life:** By modeling datasets obtained from real field operations, physical obstacles with different geometric forms were designed. These obstacles, positioned on the circular track, accelerate the structural wear process affecting the vehicle in a controlled manner.



Figure 3 - Obstacles used on the test track

- **Safety and Automation:** Field safety was ensured by isolating the perimeter of the track with physical safety barriers. An emergency stop line and a CAN communication line for stopping the tractor were established via a slip ring located at the center, while potential risks were minimized using emergency stop buttons at different locations and laser sensors for area monitoring.
- **Continuous Data Transfer and Cloud Monitoring:** All parameters related to the vehicle and the track are continuously transferred to a cloud server via industrial communication lines, enabling retrospective data analysis and remote real-time monitoring.

4. TEST TRACK CONTROL AND COMMUNICATION INFRASTRUCTURE

The control system architecture developed for test system automation, field data acquisition, and monitoring of vehicle parameters is presented in Figure 4. The system consists of a PLC, distributed I/O modules, an HMI panel, and a protocol converter unit that enables integration with the vehicle CAN bus.

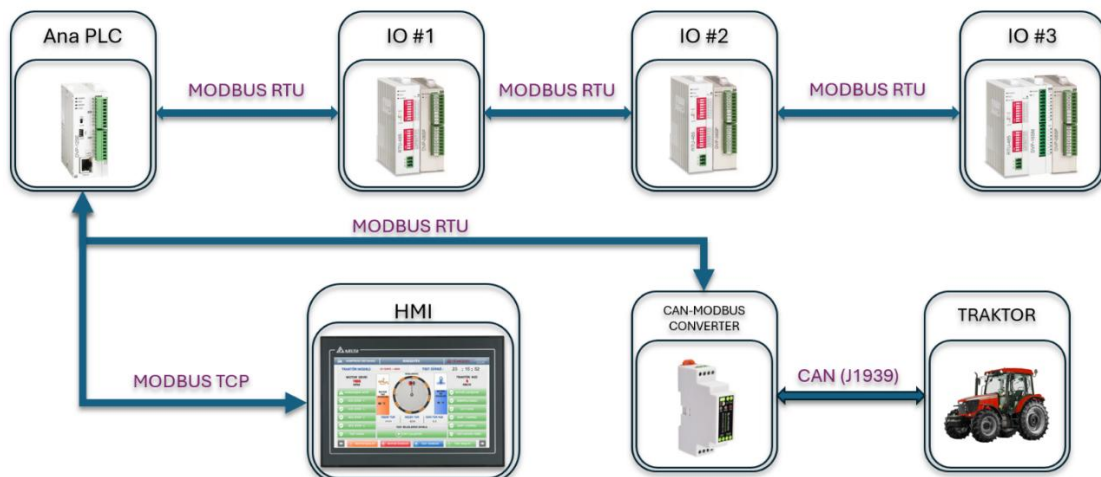


Figure 4 - Test track communication architecture

- **Distributed I/O Architecture:** The main PLC unit communicates with I/O modules distributed throughout the field via the Modbus RTU communication protocol.
- **Operator Interface (HMI):** An HMI screen is used to set test parameters, monitor real-time lap/time data, and control the system.
- **Vehicle CAN Bus (SAE J1939) Integration:** A CAN-to-Modbus converter unit was used to transfer ECU data, such as engine speed, wheel speed, and temperature, from the tested tractor to the system. Data read from the tractor's SAE J1939-based CAN bus are converted into Modbus RTU format and transmitted to the PLC system. The converter also converts Modbus RTU messages generated by the PLC into CAN messages and transmits them to the tractor (cruise control, forward-reverse gear selection, engine start-stop commands, etc.).

4.1. HMI Control and Monitoring Interface

The HMI operator interface enables the field operator to manage the test processes. The tractor's instantaneous engine speed (RPM), vehicle speed, and water and oil temperature values can be monitored in real time on the screen. At the same time, the status of photocells, emergency stop buttons, and test track gates can be viewed instantly. The operator can control the functions related to the test track using the buttons on the touchscreen.

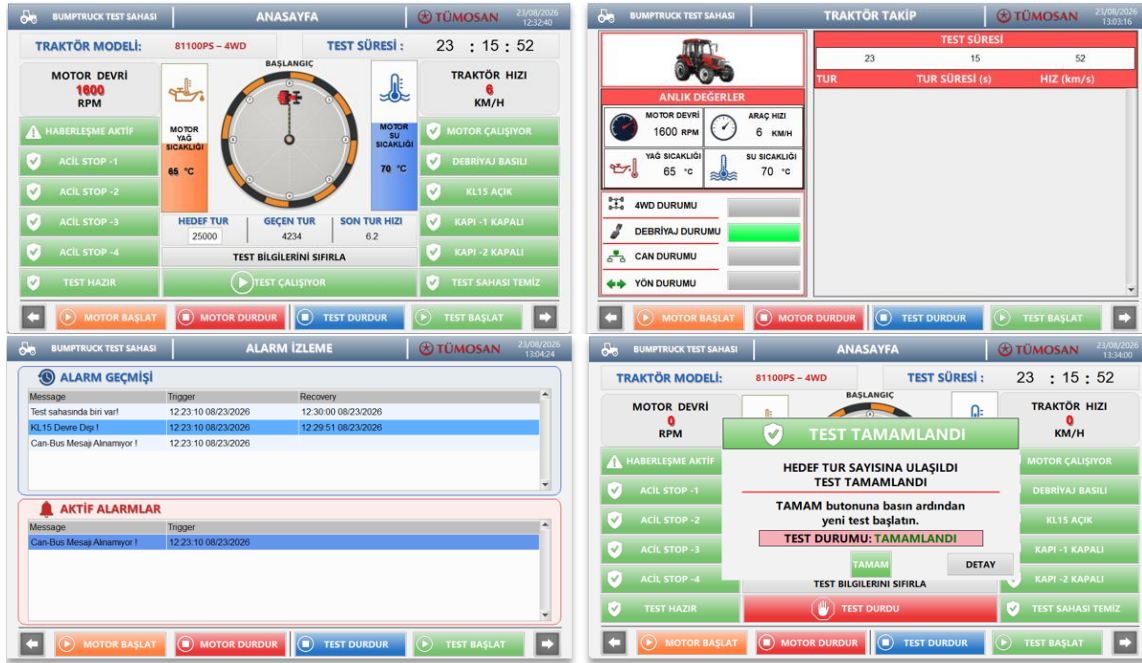


Figure 5 - HMI Control and Monitoring Interface

5. SYSTEM SAFETY CONDITIONS AND EMERGENCY ALGORITHMS

Safety conditions were defined to ensure the safety of autonomous test operations and prevent possible mechanical/electronic failures. Safety scenarios are grouped under three main categories:



Figure 6 - HMI Emergency Screen

- **Environmental and Physical Violations:** If the safety lines around the field are interrupted, personnel or vehicle access gates are opened without authorization during driverless testing, or any of the emergency stop buttons located around the field are pressed, the test automation system automatically triggers the emergency stop procedure.
- **Critical Thermal and Mechanical Limits:** If engine coolant temperature, transmission/engine oil temperature, or other engine data read from the tractor's CAN bus (J1939) exceed predefined safety threshold values, the test automation system automatically triggers the emergency stop procedure.

- **Communication and Network Failures:** If data flow between the controllers on the tractor and the main control cabinet/PLC is interrupted, or if the Modbus RTU communication link between the distributed I/O panels on the field is lost, the test automation system triggers the emergency stop procedure.

6. ONLINE DATA TRANSFER AND TELEMETRY INFRASTRUCTURE

The cloud-based telemetry system developed to enable remote, real-time, and retrospective monitoring of data obtained from the test field is presented in Figure 7. The data visualization service displays both data received from the vehicle CAN bus and status data from the field automation system in a single interface.

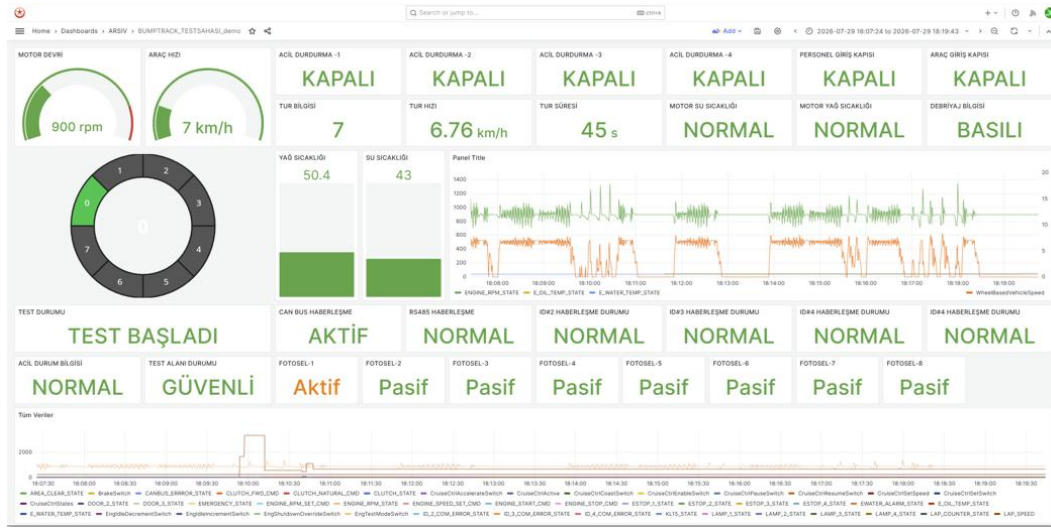


Figure 7 - Cloud data acquisition system

Parameters obtained from the tractor's CAN bus, such as engine speed, vehicle speed, engine coolant temperature, and transmission oil temperature, together with the status of safety gates, emergency stop button states, area-clearance checks, and total completed lap/time information transmitted from the PLC automation system, are visualized in real time through indicators and time-series graphs.

7. CONCLUSION

As part of this study, an integrated test track capable of simulating the random and difficult-to-predict structural loads experienced by agricultural tractors under field conditions in a controlled, repeatable, and autonomous manner was developed and implemented at the TÜMOSAN Motor ve Traktör A.Ş. Konya facility. Through physical obstacles designed based on the analysis of data obtained from real field operations, fatigue damage that would normally occur over long periods and under variable conditions during conventional field tests can be reproduced on the test track in an accelerated and standardized manner. The system, built around a PLC-based automation infrastructure, HMI interfaces, and industrial communication protocols, enables the tests to be conducted safely and autonomously without human intervention or a driver. In particular, multi-layered safety algorithms and emergency scenarios ensure both operator and vehicle safety by immediately stopping the test in the event of potential mechanical or electronic failures. In addition, the continuous transmission of vehicle and test

track data to an online server enables remote monitoring of the tests and retrospective data analysis. The elimination of climate dependency compared with field testing, the standardization of test conditions, and the reduction in human resource requirements are among the main advantages of the developed system. As a result, the duration of validation tests in new product development processes has been shortened, operational costs have been reduced, and test repeatability has been significantly improved. The experience gained from this study may also provide a foundation for the future development of scalable accelerated life testing infrastructures for different vehicle classes and load profiles.

8. ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank TMOSAN Teknoloji Mühendislik Sanayi Ticaret A.. for the support provided in carrying out this study.

9. REFERENCES

- Chaim, M. (2019). Visualizing Data with Grafana. Packt Publishing.
- Delta Electronics, Inc. (2018). Delta DVP-PLC Application Manual: Programming. Delta Electronics.
- Delta Electronics, Inc. (2019). DOP-100 Series Human Machine Interface Instruction Sheet. Delta Electronics.
- HBM nCode. (2021). nCode DesignLife: Theory and Tutorials Manual. HBM United Kingdom.
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 11898-1:2015: Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling.
- Miner, M. A. (1945). Cumulative damage in fatigue. *Journal of Applied Mechanics*, 12(3), A159-A164.
- SAE International. (2018). Serial Control and Communications Heavy Duty Vehicle Network (SAE J1939). SAE International.
- Yay, K., & Ereke, İ. M. (2003). Hızlandırılmış taşıt mr testlerinde yol verisi kullanımına yeni bir yaklaşıml. *İT Dergisi/D*, 2(5), 61–73.

QUANTIFYING THE ENERGY EFFICIENCY PENALTY OF DEFERRED MAINTENANCE ON MOTOR YACHTS: A MULTI-VESSEL CASE STUDY

Emre Can TAŞDEMİR

Istanbul Technical University, Faculty of Maritime, Department of Maritime Transportation
Engineering, Istanbul, Türkiye

ORCID ID: 0009-0008-2661-4816

Toprak OBA

Istanbul Technical University, Faculty of Maritime, Department of Maritime Transportation
Engineering, Istanbul, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-2497-7655

Prof. Dr. Yasin ARSLANOĞLU

Istanbul Technical University, Faculty of Maritime, Department of Basic Sciences, Istanbul,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-9492-2975

ABSTRACT

Energy efficiency in commercial shipping rests on extensive literature, but the motor yacht sector, with low annual utilisation, high hotel-load fraction and calendar-driven maintenance, has no comparable evidence base. This paper asks how large the maintenance-related energy penalty is, category by category, and whether it accrues progressively or as a step change. We report a twelve-month scoping study of three motor yachts of approximately 30, 45 and 75 m, the first phase of a programme whose twenty-four-month matched-pair sister-yacht comparison is not reported here. It draws on logbooks, planned maintenance records, engine monitoring, thermographic surveys and crew interviews across eight categories, six comparative and two single-event observations. The quantitative core is a field-calibrated representative scenario: anonymised composite vessels calibrated to service records, interviews and published effect ranges, with all claims made at that level. Hull and propeller cleaning gave the largest effect: a mean 19.4% reduction in fuel consumption per nautical mile at matched speed and sea state (12.0–24.2% across vessels). Normalising each penalty by its cleaning interval collapses that spread into a near-constant 2.4–3.0% per month, evidence of progressive rather than threshold degradation. SFOC deviation roughly doubled between successive engine services, a factor of 2.5–2.8 (6.6 percentage points end-of-cycle, ≈ 3.3 pp time-averaged). HVAC servicing reduced auxiliary electrical load by 4.8–10.1%; thermographically guided electrical remediation cut overnight generator fuel by 6–11%; exhaust lagging renewal on two vessels lowered adjacent-space HVAC load by 5–7%; generator load-matching on one vessel improved specific generating consumption by 24.4%. An interaction-adjusted energy balance places the total at $\approx 11.9\%$ of annual consumption; admitting only cross-vessel comparative evidence, excluding the single-vessel generator and the single-event observations, leaves $\approx 9.4\%$. We report the 9.4–11.9% band under the declared conventions, not a point value. Confounds (joint hull/propeller cleaning, tank-sounded fuel on the smallest vessel, cross-vessel differences) are stated.

Keywords: yacht energy efficiency, biofouling, specific fuel oil consumption, condition-based maintenance

KARNİVOR BİR YIRTICI KUŞ OLARAK *FALCO TINNUNCULUS*'UN GASTROİNTESTİNAL HİSTOLOJİSİ VE DİYET ADAPTASYONLARI

Dr. Öğr. Üyesi Hatice YAREN KULOĞLU

Aksaray University, Faculty of Veterinary, Department of Histology and Embryology,
68000, Merkez, Aksaray

ORCID ID: 0000-0003-0435-4677

ÖZET

Bu derleme, Falconiformes takımının en yaygın türlerinden biri olan ve Avrasya, Afrika ile Kuzey Amerika'da geniş bir coğrafi dağılıma sahip küçük bir yırtıcı kuş olan *Falco tinnunculus*'un sindirim sisteminin fonksiyonel histolojisini bütüncül bir şekilde ele almaktadır. Tür, başlıca kemirgenler, küçük sürüngenler, böcekler ve arada sırada küçük kuşlar ile beslenen fırsatçı bir karnivor olarak ekolojik işlev görmektedir; bu av spektrumunun yansıması olarak sindirim kanalı, avın mekanik yakalanmasından kimyasal sindirimine, absorpsiyondan dışkılamasına kadar uzanan çok sayıda özelleşmiş histolojik adaptasyon barındırmaktadır.

Üst çenede yer alan keratinize tomial diş, sivri ve geriye kıvrımlı gaga ile birlikte avın hızla immobilize edilmesini sağlayan Falconidae familyasına ait karakteristik bir mekanik adaptasyondur. Çift uçlu ve arka yöne yönelik papillalarla donatılmış dil, avın yutaktan geri kaçmasını önlerken, dil kökündeki lingual bezlerin asidik mukus salgısı hem antimikrobiyal hem de kayganlaştırıcı işlev görmektedir.

Proventrikulus, asidik-nötr yapıda salgısı ile yırtıcı kuşlara özgü güçlü proteolizi başlatmakta; ventrikulus ise kalın muskularis tabakası, muskularis mukoza varlığı ve sıkı koilin kütikülü ile kemik ve kıkırdak gibi sert av bileşenlerinin mekanik öğütülmesini sağlamaktadır. İnce bağırsak; yüksek villus yapısı, yoğun mikrovillus yüzeyi, distal segmentlere doğru artan sayıda goblet hücresi ve iyi gelişmiş Paneth hücreleri ile yüksek protein ve yağ yükünün verimli absorpsiyonunu ve intestinal immün savunmayı desteklemektedir. Sekumun körelmesi sellüloz fermentasyonunun yokluğunu yansıtmakta; rektum çok sayıda goblet hücresi ile dışkının kontrollü atılmasını sağlamaktadır.

Karaciğerin yoğun glikojen depolaması, enerji-yoğun uçuş metabolizması ve termoregülasyon için kritik bir rezerv oluşturmakta; üç loblu pankreas ise seröz asinüsleri ve heterojen boyutlu Langerhans adacıkları ile ekzokrin sindirim enzimlerinin salgılanmasını ve endokrin glukoz metabolizması düzenlenmesini birlikte sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: *Falco tinnunculus*, sindirim sistemi, fonksiyonel histoloji, proventrikulus, ventrikulus, ince bağırsak

GASTROINTESTINAL HISTOLOGY AND DIETARY ADAPTATIONS OF *Falco tinnunculus* AS A CARNIVOROUS RAPTOR

ABSTRACT

This review comprehensively addresses the functional histology of the digestive system of *Falco tinnunculus*, one of the most widely distributed small raptors of the order *Falconiformes* across Eurasia, Africa, and North America. The species functions as an opportunistic carnivore, feeding mainly on rodents, small reptiles, insects, and occasionally small passerines; reflecting this prey spectrum, the digestive tract exhibits numerous specialized histological adaptations—from the mechanical capture of prey to chemical digestion, absorption, and defecation.

The keratinized tomial tooth on the upper jaw, together with the sharp and posteriorly curved beak, is a characteristic mechanical adaptation of the family *Falconidae* that enables rapid immobilization of prey. The bifid tongue equipped with caudally directed lingual papillae prevents prey from escaping back through the pharynx, while the acidic mucus secreted by the lingual glands concentrated at the root of the tongue serves both antimicrobial and lubricating functions.

The proventriculus initiates the strong proteolysis typical of raptors through its mixed acidic–neutral secretion; the ventriculus provides mechanical grinding of hard prey components such as bone and cartilage via its thick muscularis layer, the presence of a muscularis mucosae, and a tightly adherent koilin cuticle. The small intestine supports efficient absorption of the high protein and lipid load and intestinal immune defense through its tall villus architecture, dense microvillous brush border, increasing density of goblet cells toward distal segments, and well-developed Paneth cells. The vestigial cecum reflects the absence of cellulose fermentation; the rectum, populated by abundant goblet cells, ensures controlled fecal evacuation.

The dense hepatic glycogen storage constitutes a critical reserve for energy-intensive flight metabolism and thermoregulation; the three-lobed pancreas supports exocrine secretion of digestive enzymes and endocrine regulation of glucose metabolism through its serous acini and heterogeneously sized islets of Langerhans.

Keywords: *Falco tinnunculus*, digestive system, functional histology, proventriculus, ventriculus, small intestine

1. INTRODUCTION

Raptors occupy the top of the food web in many ecosystems and are the predators that control populations of small mammals, small birds, and insects (Mikkola, 2023; Preja et al., 2023a). Within this group, *Falco tinnunculus* is among the most widespread species of the family Falconidae, capturing its prey largely from a spectrum consisting of mice, lizards, and insects (Fowler et al., 2009; Preja et al., 2023a). Falconini possess a keratinized protrusion on the upper jaw known as the tomial tooth, which rapidly immobilizes prey; this structure enables the effective killing of small mammalian prey through severing of the spinal cord or crushing of the head (Fowler et al., 2009; Jones et al., 2024). Within the genus *Falco*, the tomial tooth varies in shape and size; this variation is functionally related to prey type, and the pronounced bill morphology differences demonstrated by geometric morphometrics between the Falconiformes–Accipitriformes clades support the conclusion that Falconiformes possess a shorter and broader bill, which is associated with their prey-capture technique.

The digestive system anatomy of birds is a highly variable system shaped by diet type (carnivore, granivore, omnivore, herbivore) and by the biomechanical demands of flight. The digestive tracts of raptors are characterized by a short but muscular gastrointestinal tract that fragments bone and digests feathers, hair, and prey remains (Preja et al., 2023a; Qian-rui, 2004). As emphasized in Gao's 2004 morphological observations, in carnivorous birds the small intestine is well developed while the cecum is vestigial, whereas the reverse pattern holds in herbivorous birds (Qian-rui, 2004); this rule has likewise been confirmed, with a similar formulation, for *Athene noctua* (the little owl) (Yan, 2005).

The digestive system of *F. tinnunculus* comprises a series of specialized structural–tissue arrangements extending from prey capture to defecation. The principal specializations are: a prominent tomial tooth on the sharp, curved beak (Fowler et al., 2009; Jones et al., 2024; Preja et al., 2023a); a bifid tongue equipped with caudally directed papillae (Emura et al., 2008; Qian-

ru, 2004) (EMURA et al., 2008); a well-developed ingluvial region (Preja et al., 2023a; Qian-ru, 2004); an esophagus bearing numerous openings of salivary glands (Lazareff, 2012; Preja et al., 2023a; Qian-ru, 2004); a proventriculus (pars glandularis) with lobular histology (Abumandour, 2013; Maher & Hussein, 2023; Mutlak & Faraj, 2024) (Abumandour, 2013); a thick-walled, keratinized ventriculus (pars muscularis) (Abumandour, 2013; Alsanosy et al., 2020) (Abumandour, 2013); a long small intestine composed of three segments (duodenum, jejunum, ileum) (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017; Khayoon & Reshag, 2024b) (araji, 2017); and a highly vestigial cecum together with a functionally effective rectum and cloaca (Almeida et al., 2018; Khaleal, 2017; Preja et al., 2023a; Silva et al., 2022).

The tomial tooth and the lingual papillae play critical roles in the mechanical capture of prey and in preventing its escape back through the pharynx (Emura et al., 2008; Fowler et al., 2009; Qian-ru, 2004) (EMURA et al., 2008; Qian-ru, 2004). In the study by Emura et al., in which the lingual structures of *F. peregrinus* and *F. tinnunculus* were compared in detail by scanning electron microscopy, it was demonstrated that in both species the tongue is divided into three parts (apex, corpus, and root), is lined by carpet-like epithelium, and bears numerous openings of lingual gland ducts in the corpus–root region (EMURA et al., 2008); this similarity supports the view that lingual structure is an adaptation conserved at the family level (Emura et al., 2008; Erdoğan et al., 2012; Franzo et al., 2021). In Accipitriformes species such as *Buteo rufinus* (long-legged buzzard) and *Buteo buteo* (common buzzard), it has been demonstrated histochemically that the lingual glands are concentrated at the root of the tongue, contain numerous duct openings, and secrete acidic mucus (Bozkurt et al., 2018; El-Beltagy, 2013; Erdoğan et al., 2012); these findings support the conservation of lingual mucosal architecture between Falconiformes and Accipitriformes.

The aim of this review is to synthesize the current histological, histochemical, and ultrastructural data for every segment of the digestive system of *F. tinnunculus*, and thereby to elucidate the functional relationship between the tissue architecture of the organs and the diet. The primary sources used are: Gao's classic 2004 morphological observations (Qian-ru, 2004); the 2020 interspecies comparative study by Alsanosy et al.; the 2024 TEM ultrastructural investigation by Abumandour et al. (Abumandour et al., 2024); Al-A'araji's 2017 study of small intestinal histochemistry (araji, 2017); Al-Basheer's 2025 study of Falcon duodenal histochemistry; Khaleal's 2017 cecum–rectum study; the 2023 macro-anatomical comparison and the broader 26-species upper digestive tract study by Preja et al. (Preja et al., 2023a, 2023b); Al-Haak's 2019 pancreatic histology study; Şimşek et al.'s immunohistochemical study of the *Falco* pancreas (ŞİMŞEK et al., 2009); Kara et al.'s immunohistochemical studies of the *Accipiter nisus* pancreas and gastrointestinal tract (Kara et al., 2014; Kara & Balkaya, 2022) (Kara et al., 2014); Abumandour's 2013 macro- and microscopic study of the stomach (Abumandour, 2013); Jumaah's 2025 hepatic histology study (Jumaah, 2025); Mutlak and Faraj's study of the *Circus aeruginosus* proventriculus; Maher and Hussein's histochemical study of the *Tyto alba* proventriculus; Shawki et al.'s seasonal histology study of *Athene noctua* (Shawki et al., 2022); Lazareff's comparison of the esophagus and stomach of Falconidae and other raptorial species; Rossi et al.'s raptor parasitology–histopathology study; Fowler et al.'s study of raptor predatory biomechanics; Jones et al.'s study of American kestrel bill shape; and Koraltascı et al.'s study of *Buteo buteo* small intestinal–hepatic catalase (TAŞÇI et al., 2017).

2. MATERIALS AND METHODS

This work is not a primary research article but a systematic review of the existing literature. The literature search was conducted in the following databases:

- **PubMed / Web of Science / Scopus (1990–2025)** — using the keywords *Falco tinnunculus*, common kestrel, digestive tract, gastrointestinal histology, proventriculus, ventriculus, small intestine, pancreas, liver, and bird intestine histochemistry.
- **Google Scholar, ResearchGate, Academia.edu** — additional searches for open-access articles and conference proceedings.
- **Journal archives** (*Microscopy Research and Technique, Journal of Veterinary Medicine, Iraqi Journal of Veterinary Sciences, Anatomia, Histologia, Embryologia, Zoologischer Anzeiger, Egyptian Journal of Veterinary Sciences, Avian Biology Research, Folia Morphologica*).

Inclusion criteria:

- Original research articles directly addressing segments of the digestive system of *Falco tinnunculus* or closely related Falconiformes/Accipitriformes species (Abumandour et al., 2024; Abumandour, 2013; Al-Basheer, 2025; Al-Haaik, 2019; Alsanosy et al., 2020; Al-A'araji, 2017; Kara et al., 2014; Preja et al., 2023a, 2023b; Shawki et al., 2022; Şimşek et al., 2009);
- Studies performed using histological, histochemical, immunohistochemical, lectin histochemical, or electron microscopic methods.

Exclusion criteria:

- Studies presenting only macro-anatomical data without histological information;
- Review articles (screened for their references but not cited as primary data);
- Publications examining only non-digestive systems;
- Specimens whose tissue integrity was compromised by severe pathology/parasitemia (e.g., specimens with parasitic lesions in Rossi et al. were not taken as a control group).

Common methods used in the histological assessments (synthesis base):

- **Fixation:** In most studies, 10% neutral buffered formalin or Bouin's fixative was used, and specimens were embedded in paraffin (Al-Basheer, 2025; Al-Haaik, 2019; Alsanosy et al., 2020; Al-A'araji, 2017; Khaleal, 2017; Rossi et al., 2021).
- **Tissue sections:** Sections 3–6 µm thick (Al-Basheer, 2025; Alsanosy et al., 2020; Rossi et al., 2021).
- **Routine staining:** Hematoxylin–Eosin (Alsanosy et al., 2020; Al-A'araji, 2017; Jumaah, 2025; Rossi et al., 2021); Masson's trichrome (Jumaah, 2025); Crossman's modified triple staining (Khaleal, 2017; Taşçı et al., 2017) (TAŞÇI et al., 2017).
- **Histochemistry:** Periodic acid–Schiff (Al-A'araji, 2017; Jumaah, 2025; Khayoon & Reshag, 2024b; Taşçı et al., 2017); Alcian blue pH 2.5 (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017; Khayoon & Reshag, 2024b) (araji, 2017); PAS-AB combination (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017) (araji, 2017); diastase-resistant PAS (Khayoon & Reshag, 2024b).
- **Lectin histochemistry:** *Dolichos biflorus* agglutinin, *Ricinus communis* agglutinin I.
- **Immunohistochemistry:** α -smooth muscle actin (α -SMA); anti-insulin, anti-glucagon, anti-somatostatin, anti-gastrin, anti-serotonin (for pancreatic and gastrointestinal entero-endocrine cells) (Kara et al., 2014; Kara & Balkaya, 2022; Şimşek et al., 2009); anti-catalase (antioxidant defense, *Buteo buteo*) (TAŞÇI et al., 2017); streptavidin–biotin–peroxidase technique (Kara et al., 2014; Kara & Balkaya, 2022; Şimşek et al., 2009).
- **Electron microscopy:** SEM (scanning) for tongue and lingual gland surface morphology (Bozkurt et al., 2018; El-Beltagy, 2013; Emura et al., 2008; Erdoğan et al.,

2012); TEM (transmission) for ultrastructural evaluations (Abumandour et al., 2024; Olmedo et al., 2000).

Measurements and statistics: For histomorphometry, ImageJ or a manual ocular micrometer was used; in comparisons, parametric or non-parametric tests such as the Student's *t*-test, Mann–Whitney *U*, and ANOVA were applied (Al-Basheer, 2025; Al-Haaik, 2019; Al-A'araji, 2017; Khaleal, 2017; Shawki et al., 2022) (Shawki et al., 2022). In this review, all histomorphometric values reported in the primary sources have been preserved verbatim (e.g., pancreatic islet diameters: small islets $40.02 \pm 0.9 \mu\text{m}$; large islets $126.3 \pm 3.8 \mu\text{m}$; *Tyto alba* proventricular measurements: length $14.18 \pm 0.08 \text{ mm}$, width $6.46 \pm 0.17 \text{ mm}$, lumen diameter $1.46 \pm 0.14 \text{ mm}$).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Oral Cavity and Tongue

The beak of *Falco tinnunculus* is short and decurved; the distal edge of the upper beak bears a keratinized projection termed the tomial tooth, which is a characteristic of the family Falconidae and is observed in all members of the genus *Falco* within Falconiformes (Fowler et al., 2009; Jones et al., 2024; Preja et al., 2023a; Ruzhanova-Gospodinova, 2024). The functional morphology study by Fowler et al. on raptor predatory biomechanics demonstrated that the Falconini tomial tooth enables rapid immobilization of prey through severing of the spinal column or crushing of the head; Jones et al. showed that in *Falco sparverius* specimens the shape of the tomial tooth differs between island and mainland populations according to prey-type preference, supporting the notion that the tomial tooth is a plastic adaptation to prey type across the Falconidae. In the comparison of *F. tinnunculus* and *Tyto alba* (barn owl) by Preja et al., conical papillae and salivary gland duct openings were reported to be common to both species, although differing in density (Preja et al., 2023a).

Tongue morphology has been described in detail in the SEM study of Emura et al. (Emura et al., 2008; Erdoğan et al., 2012). The tongue is divided into three regions: the *apex linguae* (tip), *corpus linguae* (body), and *radix linguae* (root). The tip is bifid and lined by carpet-like epithelium; numerous openings of lingual gland ducts are located in the body and root regions (EMURA et al., 2008). In Gao's light microscopic observations, "bomb-shaped papillae" directed caudally (toward the pharynx) on the dorsal surface of the tongue root, and rod-shaped papillae at the tips of the tongue's two extensions, were described; these papillae function as a mechanical barrier preventing prey from escaping back through the pharynx (Qian-rui, 2004). A similar mechanical barrier function has been described in *Athene noctua*, and this structure is considered a convergent adaptation in Falconiformes and Strigiformes (Shawki et al., 2022; Yan, 2005).

Salivary gland histochemistry has been studied in detail in the related species *Buteo buteo* (common buzzard): Bozkurt et al. reported that in *Buteo buteo* the anterior lingual salivary glands at the tongue root give positive reactions with PAS, AB pH 1.0, and pH 2.5; that this acidic mucus secretion exerts an antimicrobial effect; and that it contributes to the digestive process in the distal digestive tract (Bozkurt et al., 2018). In *Buteo rufinus*, SEM has likewise shown that the lingual glands are concentrated at the tongue root and contain numerous duct openings (Erdoğan et al., 2012). In El-Beltagy's comparison of *Halcyon smyrnensis* (white-throated kingfisher, piscivorous) with *Buteo buteo* (omnivorous), the lingual glands of the omnivorous buzzard were better developed than those of the piscivorous kingfisher, and this difference was attributed to the dietary spectrum; a similar trend is expected within the genus *Falco*.

The epithelial structure is consistent with a carnivorous diet: the dorsal surface of the tongue is covered by stratified squamous keratinized epithelium (El-Beltagy, 2013; Qian-rui, 2004) (Qian-rui, 2004); keratinization is pronounced on the ventral surface and at the tongue root, and numerous mucus-secreting lingual glands are located within the lamina propria. These acidic secretions exert an antimicrobial effect and facilitate swallowing by lubricating the food bolus (Bozkurt et al., 2018; Erdoğan et al., 2012). The histological study of *Polyborus plancus* (southern caracara) also reported a distribution of lingual papillae and lingual glands similar to that of the Falconidae (Franzo et al., 2021). In Olmedo et al.'s TEM examination of the palatine and lingual salivary glands of chicken, quail, chimango, and white egret—species with high keratin involvement—the secretory granules exhibited a heterogeneously ultrastructural appearance across species, which was shown to be diet-related (Olmedo et al., 2000).

3.2. Esophagus

The esophagus of *F. tinnunculus* exhibits several fundamental histological differences when compared with *Gallus gallus domesticus*. In the kestrel esophagus:

- **Epithelium:** Thin, non-keratinized (or lightly keratinized) stratified squamous epithelium. In GGD, the epithelium is markedly thickened.
- **Lamina propria:** Numerous tubulo-alveolar mucus glands are located within the connective tissue. These glands secrete acidic and neutral mucus, as demonstrated by AB and PAS staining (Abumandour et al., 2024; Shawki et al., 2022).
- **Muscularis mucosae:** Absent in the kestrel; in contrast, discernible in GGD.
- **Tunica muscularis:** Consists of an inner layer of medium-thickness longitudinal muscle and an outer thick circular layer (the reverse of GGD, where the inner layer is circular and the outer longitudinal).
- **Crop (ingluvies):** The kestrel lacks a true crop as seen in Galliformes; however, a slight dilation in the middle portion of the esophagus, termed the *ingluvium*, has been reported in Preja et al.'s comparative study; this structure is not homologous to the true crop characteristic of Galliformes (Alsanosy et al., 2020; Preja et al., 2023a). In Preja et al.'s broader comparison across 26 zoophagous Palearctic species, the *ingluvies* was reported to be located in the cranial portion of the esophagus in *F. tinnunculus*, *F. subbuteo*, *F. vespertinus*, *Accipiter gentilis*, and *Accipiter nisus*, whereas in *Pandion haliaetus* it is positioned in the terminal portion of the esophagus (Preja et al., 2023b); this difference reflects a species-specific prey-storage strategy.

Ultrastructurally, the esophageal mucosa is dominated by a single epithelial cell type (flat stratified squamous, lacking surface microvilli), and no organized striated border is present on the surface of these cells; the fibroblast-like cells immediately beneath the basal lamina are associated with connective tissue fibers (Abumandour et al., 2024). This structure indicates that the kestrel esophagus is adapted to mechanical flexibility and a low level of chemical digestion. Longitudinal mucosal folds are present along the esophagus; these folds allow distension during passage of the food bolus (Al-Saffar & Al-Samawy, 2016; Franzo et al., 2021). In the related Strigiformes species *Athene noctua*, esophageal longitudinal folds and glands have also been reported, and it has been shown that the number and depth of the folds vary with season, increasing during the winter months (Shawki et al., 2022); this has been interpreted as a seasonal adaptation of intestinal plasticity. Numerous mucus glands and longitudinal folds have also been reported in the esophageal mucosa of the striated scops owl (*Otus brucei*) (Al-Saffar & Al-Samawy, 2016).

Historically, Lazareff compared the esophageal and gastric histology of five different raptor species and reported that the esophageal glands of Peale's falcon (*Falco peregrinus pealei*) and the sparrow hawk (*Falco sparverius sparverius*) secrete in a holocrine manner, that the glands are deeply embedded within the tunica propria, and that the excretory ducts are lined by squamous epithelial cells; this histological pattern is considered a shared feature among members of the Falconidae. In species such as *Upupa epops* (hoopoe) and *Halcyon smyrnensis*, which lack a crop, food was observed to be stored along the entire esophagus. In the esophagus of *Polyborus plancus*, longitudinal folds and mucosal glands have been reported to secrete in an apocrine manner, in contrast to the Falconidae (Franzo et al., 2021).

3.3. Gastric Region

3.3.1. Proventriculus

The proventriculus is a pear-shaped, cranial segment that connects the caudal end of the esophagus to the ventriculus (Abumandour, 2013). In *F. tinnunculus*:

- **Macroscopy:** The proventricular surface lacks papillae; this is characteristic of many raptor species (Abumandour, 2013; Maher & Hussein, 2023; Mutlak & Faraj, 2024) (Abumandour, 2013). As comparative Anseriformes data, in the Chinese goose (*Anser cygnoides*) the proventriculus has been described as a fusiform organ extending in the median plane between the esophagus and the muscular stomach; it has been reported to lie between the two lobes of the liver, with its ventral surface in contact with the liver. This positioning and the general macroscopic architecture correspond at a basic level to the pear-shaped proventricular topography reported in the kestrel.
- **Tunica mucosa:** Heavily folded owing to well-developed longitudinal muscle bundles; lined by simple columnar epithelium (Abumandour, 2013; Maher & Hussein, 2023; Mutlak & Faraj, 2024) (Abumandour, 2013). These longitudinal folds (plicae) expand the secretory surface area and facilitate food digestion; Mutlak and Faraj reported that in *Circus aeruginosus* these folds are "separated by sulci of varying depths" and that the lamina propria contains simple tubular glands. At the SEM level, numerous mucosal folds were observed in the glandular stomach of the Chinese goose; parallel grooves between the folds and proventricular gland openings were demonstrated, with the folds encircling the gland orifices in parallel fashion. This pattern constitutes the Anseriformes counterpart of the longitudinal plical pattern reported in the kestrel.
- **Surface and deep glands:** Surface mucous glands and deep compound tubular glands are embedded in the lamina propria–submucosa. The basal portions of the deep glands are lined by cuboidal cells with ovoid nuclei; these cells are classic oxyntopeptic cells that secrete both HCl and pepsinogen (Maher & Hussein, 2023; Mutlak & Faraj, 2024).
- **Intermediate region (isthmus):** No intermediate region exists between the proventriculus and the ventriculus; the two compartments pass directly into one another (Abumandour, 2013; Alsanosy et al., 2020; Shawki et al., 2022). In *Tyto alba*, however, the muscularis mucosae has been shown to increase markedly at the level of the isthmus gastricus; an isthmus region has also been defined at the proventriculus–ventriculus junction in granivorous species such as *Alectoris chukar* (Khayoon & Reshag, 2024a). In the Chinese goose, the glandular stomach wall consists of four layers (tunica mucosa, submucosa, tunica muscularis, tunica serosa); the tunica mucosa is subdivided into the lamina epithelialis, lamina propria, and lamina muscularis. The lamina epithelialis contains mucus-secreting simple columnar (prismatic) cells, which show regional AB-positive reactions; nodular and diffuse lymphoid tissues are observed in the lamina

propria; the lamina muscularis consists of longitudinal smooth muscle bundles. The submucosa contains compound, branched tubular proventricular glands; these glands are composed of simple cuboidal epithelial cells and constitute the largest portion of the glandular stomach wall thickness. The tunica serosa is the outermost layer. Histochemically, no reaction was observed at AB pH 1.0, whereas at AB pH 2.5 a locally positive reaction was reported in the luminal-facing portions of the lamina epithelialis and in the tubular glands; very intense AB positivity was detected in the luminal-facing lamina epithelialis at the transition zone from glandular stomach to muscular stomach. PAS-positive reactions were seen in the basal portions of the tubular glands, whereas no PAS reaction was observed in the luminal-facing portions; with Gordon–Sweet staining, reticular fibers were readily distinguished in all areas containing connective tissue. This histochemical pattern—AB positivity concentrated in the luminal-facing portions and PAS positivity in the basal segments of the glands—reflects interspecies variation in mucus distribution that is comparable to the acidic + neutral mucopolysaccharide secretory profile reported for the kestrel proventriculus.

- **Chemical nature of the secretion:** Alsanosy et al. demonstrated that proventricular secretion in the kestrel contains both acidic and neutral mucopolysaccharides, differing from the exclusively neutral secretion of GGD. Ultrastructurally, dense secretory granules have been identified in the apical regions of proventricular cells ([Abumandour et al., 2024](#)).
- **Entero-endocrine cells:** Direct data on the distribution of proventricular gastrin-immunopositive cells in *F. tinnunculus* are limited; however, in the related species *Accipiter nisus*, numerous gastrin-immunopositive cells have been reported in the proventriculus.

3.3.2. Ventriculus

- **Surface:** Lined by simple columnar epithelium; a thin cuticle (koilin) layer is present on the luminal surface. This cuticle is a thin protein–carbohydrate secretory layer, very tightly adherent to the surface, with a tendency to slough around the pyloric opening ([Abumandour, 2013](#); [Khayoon & Reshag, 2024a](#)) ([Abumandour, 2013](#)).
- **Muscularis mucosae:** Present in the kestrel ventriculus; this has been confirmed by α -SMA immunohistochemistry and found to differ from GGD (where it is absent).
- **Tunica muscularis:** Very thick; displays an inner and outer longitudinal–circular arrangement; this muscle layer provides the forceful contractions required for mechanical grinding ([Abumandour, 2013](#); [Alsanosy et al., 2020](#)) ([Abumandour, 2013](#)).
- **Histochemistry:** Koilin reacts with PAS staining owing to its keratin-like glycoprotein content ([Khayoon & Reshag, 2024a](#)).

In most raptors, the direct transition observed between the proventriculus and ventriculus permits the large-lumened muscular structure required for the most effective mechanical fragmentation of prey ([Lazareff, 2012](#); [Mutlak & Faraj, 2024](#); [Shawki et al., 2022](#)) ([Shawki et al., 2022](#)). The ventriculi of Peale's falcon and the sparrow hawk are very large, spherical structures that fill most of the abdominal cavity; the keratinoid lining is thin and is secreted by the gizzard mucosal glands; in shellfish-feeding auks (murre), by contrast, the keratinoid layer is 5–6 times thicker than in other raptors, with heavy dorsal and ventral muscle development observed — this is the adaptation required for the mechanical grinding of hard shells.

3.4. Small Intestine

In Al-A'araji's detailed anatomical and histological study, the small intestine of the common kestrel was described as consisting of three segments: duodenum, jejunum, and ileum; there is no distinct external morphological demarcation between them, but the Meckel's diverticulum appears as a small protrusion at the jejuno-ileal boundary (araji, 2017). In Al-Basheer's 2025 histochemical study, performed comparatively with *Numida meleagris* (helmeted guineafowl), it was confirmed that this three-layered structure is also preserved in the kestrel duodenum and that the duodenum forms a U-shaped loop that houses the pancreas between its descending and ascending limbs. The same three-segment organization and Meckel's diverticulum placement were also observed in the comparison of *Circus cyaneus* (hen harrier) and *Alectoris chukar* (chukar partridge) (Khayoon & Reshag, 2024b) (Khayoon & Reshag, 2024). The histological layers of the three regions are identical: mucosa, submucosa, muscularis, and serosa (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017; Khayoon & Reshag, 2024b).

- **Mucosa:** Lined by simple columnar epithelial cells; a dense brush border of long microvilli is observed on the epithelial surface (Abumandour et al., 2024). The villi are tall and dense and contain lacteals. Goblet cells are interspersed within the epithelium; their numbers increase progressively from duodenum to ileum, reaching a maximum in the distal segments (Abumandour et al., 2024; Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017). The secretion of goblet cells is a neutral mucin that is PAS-positive and Alcian blue (pH 2.5)-negative (Al-A'araji, 2017; Khayoon & Reshag, 2024b).
- **Lamina propria:** Lieberkühn crypts are located at the connective tissue base; the crypts consist of goblet cells, Paneth cells, stem cells, and endocrine cells. Paneth cells are characteristic pyramidal cells that secrete defense peptides (defensins, lysozyme) in carnivorous species (Abumandour et al., 2024). In Al-Basheer's comparison of Falcon and *Numida meleagris* duodena, the goblet cells in the crypts and villi were reported to show a moderate reaction with PAS-AB (pH 1) — that is, to contain both acidic and neutral mucopolysaccharides.
- **Submucosa:** Connective tissue; thick in the duodenum and jejunum, thinner in the ileum (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017) (araji, 2017).
- **Tunica muscularis:** Composed of inner circular and outer longitudinal smooth muscle layers (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017) (araji, 2017).
- **Serosa:** A thin connective tissue layer covered by a single layer of mesothelial cells (araji, 2017).
- **Entero-endocrine cells:** In the immunohistochemical study of *Accipiter nisus* (sparrowhawk), numerous serotonin-immunopositive cells were detected in the duodenum and jejunum, with glucagon-, gastrin-, and somatostatin-immunopositive cells present in varying proportions.

Ultrastructural characteristics: Four principal cell types have been identified in the small intestinal mucosa: (i) columnar absorptive cells, (ii) light goblet cells, (iii) dark goblet cells, and (iv) Paneth cells. The apical surfaces of the columnar cells bear dense, long, and regularly arranged microvilli (Abumandour et al., 2024). Goblet cells, in their maturation stages prior to expansion by the mucus mass, display a striated border (microvillous band) similar to that of the columnar absorptive cells; this structure ensures that mucus secretion reaches the apical surface in a controlled manner (Abumandour et al., 2024). The dark and light goblet subpopulations are likely associated with the parallel secretion of different mucus glycoprotein subtypes.

In Al-Basheer's 2025 study, the villous surface epithelium of the Falcon (*F. tinnunculus*) duodenum was PAS-positive; goblet cells reacted strongly with Alcian blue (pH 2.5); and moderate staining was reported with the combined PAS-AB (pH 1) stain, supporting the presence of mixed (acidic + neutral) mucopolysaccharides in Falcon duodenal goblet cells. In Al-A'araji's study, goblet cells were characterized as "neutral mucin" throughout the small intestine (araji, 2017); this suggests that the minor discrepancy between the two studies most likely arises from methodological differences in histochemical protocols or from the separate treatment of the duodenum, jejunum, and ileum subsegments (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017) (araji, 2017).

Body-length and weight ratios: The small intestine length/body length and small intestine weight/body weight ratios of *F. tinnunculus* are significantly lower than those of the omnivorous *Pycnonotus leucotis* (white-eared bulbul); this finding supports the notion that the protein and lipid digestion of a carnivorous diet can be accomplished efficiently over a shorter intestinal surface (araji, 2017). Similarly, in the *Circus cyaneus* and *Alectoris chukar* comparison, the intestinal length/body length and weight/body weight ratios of the carnivorous *Circus* were found to be lower than in the granivorous partridge (Khayoon & Reshag, 2024).

Comparative immunohistochemistry and antioxidant defense: In the *Buteo buteo* small intestine, Crossman's modified triple and PAS stains were applied; the presence of catalase immunoreactivity in the lamina propria and submucosa demonstrated that the intestinal antioxidative defense mechanism operates effectively in raptors (TAŞÇI et al., 2017); this finding reflects a redox homeostasis mechanism shared between Falconiformes and Accipitriformes.

Interspecies comparisons: A similar villus, goblet cell, and Lieberkühn crypt organization has been reported in the small intestine of *Otus brucei* (striated scops owl) (Al-Saffar & Al-Samawy, 2016). Detailed immunohistochemical and stereological analyses have been performed on the small intestine of *Phasianus colchicus* (common pheasant); this study has enabled quantitative comparison of epithelial morphometric differences between carnivorous Falconiformes and granivorous Galliformes. In *Polyborus plancus*, lymphatic follicles within the villi and high goblet cell density support the notion that intestinal lymphatic immune structure is widespread in carnivorous species outside the Falconiformes and Falconidae.

3.5. Large Intestine, Cecum, and Rectum

3.5.1. Cecum

In *F. tinnunculus*, the cecum is a vestigial organ functioning as a "lymphoid type" structure (Khaleal, 2017; Preja et al., 2023a; Qian-rui, 2004) (Qian-rui, 2004). The cecal wall generally consists of mucosa, muscularis externa, and serosa layers; a submucosal layer is not present in the cecum. The mucosa:

- Possesses long villi; of different shapes proximally, and in the form of folds or mound-like structures in the middle portion.
- Is lined by simple columnar epithelium; contains a brush border (microvilli) and goblet cells.
- The epithelium also lines the Lieberkühn crypts located at the bases of the villi and folds.

Comparatively, while the cecum of *Tyto alba* is long, bilobed, and functional, that of *F. tinnunculus* is observed as a vestigial and small structure (Preja et al., 2023a). Gao's 2004 observations demonstrated that in carnivorous birds the cecum is vestigial and the small intestine well developed, whereas the reverse pattern is seen in herbivorous birds (Qian-rui,

2004); the same morphological rule has been confirmed in *Athene noctua* (Yan, 2005). In *Polyborus plancus*, the formation of lymphatic follicles within the villi and a high goblet cell density at the small–large intestinal transition have been reported.

3.5.2. Rectum

The rectum is a muscular tube possessing the four fundamental layers of the digestive canal (mucosa, submucosa, muscularis externa, serosa). The mucosa lacks villi; the surface is lined by simple columnar epithelium. The distinguishing feature of this epithelium is that it contains numerous goblet cells and constitutes the continuation of the Lieberkühn crypts located between the villi. The number of goblet cells in the rectum shows an increasing trend from duodenum to rectum, reaching its highest level; this is associated with the lubrication of feces and the support of water–electrolyte absorption (Al-A'araji, 2017; Khaleal, 2017) (araji, 2017). In *Polyborus plancus*, longitudinal folds have been reported in the large intestine and villous cells to contain lymphocytic infiltrations in the lamina propria; a similar villus architecture was confirmed in the intestinal morphometry study of *Rupornis magnirostris* (roadside hawk).

3.5.3. Cloaca

The cloaca is a common structure into which the digestive, urinary, and reproductive canals open; histologically, it comprises three compartments (coprodeum, urodeum, proctodeum), each possessing a differentiated epithelium. In the cloaca of the related species *Rupornis magnirostris*, a keratinized stratified squamous epithelial transition zone has been defined in the proctodeum; this is a protective adaptation against mechanical abrasion. In *Polyborus plancus*, the submucosal layer has been reported to be observed only in the cloaca, with the muscle layer displaying a transverse–longitudinal arrangement; this histological distinction may also apply to the cloacal histology of *F. tinnunculus*. In *Athene cunicularia* (burrowing owl) and *Tyto alba*, the absence of an ingluvies and the development of the cecum have been reported comparatively to differ between species (Santos, 2016).

3.6. Liver

The majority of the primary Falconiformes data indicate that typical avian liver histology also applies to the common kestrel (Jumaah, 2025; Mikkola, 2023) (Jumaah, 2025):

- **General structure:** Bilobed (right and left); the hepatic lobes are organized in the form of hepatic cords.
- **Hepatic lobules:** Surrounded by a thin interlobular connective tissue capsule; hepatocytes are radially arranged around the central vein. This arrangement is less distinct than in mammals (interlobular connective tissue is sparse) (Kara et al., 2019; Umahara, 1963).
- **Hepatocytes:** Characterized by abundant cytoplasm, prominent nuclei, and dense glycogen storage. Masson's trichrome and PAS stains confirm this structure (Jumaah, 2025; Kara et al., 2019) (Jumaah, 2025). In Umahara's comprehensive histological investigation of 22 bird species (37 specimens in total), it was shown that the hepatic cords can be organized in two morphological types (a tubular "hepatic cylinder" type and a "hepatic plate" type) and that raptorial species including Falconiformes display the "hepatic cylinder" type, similar to *Strix uralensis*, *Asio flammeus*, *Phasianus versicolor*, and *Accipiter nisus*; Azan, Heidenhain's iron hematoxylin, H&E, and PAS reactions were used in the study.

- **Sinusoids:** Lined by endothelial cells and Kupffer cells; in the Falconiformes liver, the sinusoids and their reticular fibers are generally underdeveloped.
- **Portal area:** The interlobular artery, vein, and bile duct lie adjacent to one another (Kara et al., 2019; Umahara, 1963).

This general architecture in the kestrel is also conserved in other poultry species: in the Chinese goose, the absence of a typical lobular structure and the presence of a thin interlobular septum, the separation of hepatocyte cords by sinusoids, and the clear distinguishability of the components of Kiernan's space (choledochus, hepatic artery, portal vein) correspond to the hepatic cord arrangement reported in the kestrel.

The histological organization of the Falconiformes liver is characterized by a high glycogen storage capacity, befitting a flying predator with high metabolic demands (Jumaah, 2025). In Kalashnikova's ultrastructural study of corvids, the hepatocyte cytoplasm was shown to become enriched in glycogen granules and lipid droplets under adverse ecological conditions, whereas in birds under normal conditions the cytoplasm displayed a lipid-dominant structure (Kalashnikova & Фадеева, 2006); this finding supports the dynamic shaping of hepatic glycogen content by metabolic demands.

In *Buteo buteo*, catalase immunoreactivity was detected in the cytoplasm of hepatic hepatocytes; this supports the notion that the hepatic antioxidative defense mechanism is shared along the Falconiformes–Accipitriformes lineage (TAŞCI et al., 2017). The liver of *Columba livia domestica* (pigeon) likewise displays hepatic cord organization and portal area histology consistent with the principles seen in Falconiformes.

At the transmission electron microscopic level, hepatocytes of the Chinese goose with intact mitochondrial structure and euchromatic nuclei, together with Kupffer cells, were observed; this finding is consistent with the sinusoidal structure lined by Kupffer cells in the Falconiformes liver.

3.7. Pancreas

According to Al-Haak's study of 15 adult common kestrels, the pancreas lies beneath the right peritoneal cavity, between the descending and ascending limbs of the duodenum; it is pale pink to whitish-pink in color and consists of three lobes (dorsal/ventral/splenic); well-developed interlobar connections exist between the lobes, making lobe demarcation difficult.

- **Capsule:** A very thin connective tissue capsule surrounds the organ; it is covered by mesothelial cells. Fine connective tissue septa extending from the capsule into the parenchyma divide the organ into lobules; some septa carry blood vessels.
- **Exocrine parenchyma:** Consists of serous acini; the pyramidal cells of each acinus contain a dark, round basal nucleus and acidophilic granules apically. Centroacinar cells with one or two nuclei are observed at the center of the acini.
- **Endocrine parenchyma:** Found as clusters of pale, oval or round structures of varying sizes. According to Al-Haak's morphometric data:
 - Mean diameter of small islets: $40.02 \pm 0.9 \mu\text{m}$
 - Mean diameter of large islets: $126.3 \pm 3.8 \mu\text{m}$
- In addition, a few endocrine cells are observed singly interspersed among the acini.

Falconidae–Accipitridae pancreas comparison: In Şimşek et al.'s immunohistochemical study of the lesser kestrel (*Falco naumanni*), the pancreas was shown to consist of three lobes (dorsal, ventral, splenic) and to contain acinar cells, ducts, and alpha, beta, and mixed islets of Langerhans (ŞİMŞEK et al., 2009). In this species, the alpha islets were located in the center of the splenic lobe as 3–4 large islets, and in the dorsal and ventral lobes as few small islets; the

beta islets were detected as 7–8 small clusters in the periphery of the splenic lobe and abundantly in all lobes (ŞİMŞEK et al., 2009). With staining by the streptavidin–biotin peroxidase method, insulin-immunopositive cells were detected abundantly in the center of the beta islets, and singly or in groups of 3–8 cells in the alpha islets and exocrine tissue (ŞİMŞEK et al., 2009); Şimşek et al. emphasized that the Falconidae pancreas is morphologically similar to the duck pancreas and different from that of chicken, goose, and quail (ŞİMŞEK et al., 2009). In Kara et al.'s immunohistochemical study of the *Accipiter nisus* pancreas, it was reported that cells secreting glucagon (alpha), insulin (beta), and somatostatin (delta) are densely located in the splenic lobe; that the alpha islets consist principally of alpha and delta cells and occasionally beta cells; that the beta islets are composed of numerous beta cells and a few delta–alpha cells; that gastrin-immunopositive cells are found singly or in clusters of 2–3 cells in the exocrine tissue; and that serotonin-immunopositive cells were encountered in neither the exocrine nor the endocrine pancreas (Kara et al., 2014). These findings indicate that the sparrowhawk pancreas resembles that of the Falconidae in terms of endocrine cell localization and lobe number, while differing from *Gallus gallus domesticus* (Kara et al., 2014).

In the comparative histology of the *Tyto alba* and *Francolinus francolinus* pancreases, the capsule was reported to be thicker in *T. alba*; in both species, the islets of Langerhans were reported to contain alpha cells (spindle-shaped, oval nucleus, peripheral) and beta cells (polygonal, spherical nucleus, central) (Al-Samawy et al., 2024); this supports the conservation of the fundamental histological organization of the pancreas between nocturnal and diurnal raptors. In the pancreas of *Columba livia domestica*, the exocrine acini, centroacinar cells, and islets of Langerhans likewise display a fundamental structure similar to that of Falconiformes.

3.8. Diet–Histology Relationship: Carnivorous Adaptations

F. tinnunculus is an opportunistic carnivore feeding predominantly on rodents, small reptiles, and insects, and occasionally on small birds (Jones et al., 2024; Mikkola, 2023; Preja et al., 2023a). The reflection of this diet on the histology of the digestive system is observed at several key points:

1. **Tomial tooth and bifid-papillated tongue:** Mechanical adaptations for the capture and tearing of prey. The caudal orientation of the "bomb-shaped" papillae at the tongue root prevents prey from escaping back through the pharynx (Emura et al., 2008; Qian-rui, 2004) (EMURA et al., 2008; Qian-rui, 2004). Fowler et al. demonstrated that the Falconidae tomial tooth provides rapid immobilization through severing of the prey's spinal column or crushing of the head; this adaptation yields effective predatory success on the head region of small mammals.
2. **Small intestinal dominance:** The small intestine is long and densely villous; it contains Paneth cells, extensive microvillous surfaces, and numerous goblet cells. This structure supports the rapid and efficient digestion of prey with a high protein and lipid load (Abumandour et al., 2024; Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017). In omnivorous species (e.g., *Pycnonotus leucotis*), the small intestine is longer and goblet cells are more numerous; this is associated with the need to buffer and lubricate fibrous plant components (araji, 2017).
3. **Cecal involution:** The absence of cellulose fermentation has led to the functional reduction of the cecum. Gao's comparative observations demonstrated that in carnivorous birds the cecum is vestigial and the small intestine well developed, whereas the reverse pattern is seen in herbivorous birds (Qian-rui, 2004). The same morphological rule has been confirmed for *Athene noctua* (Yan, 2005). The seasonal

study of *Athene noctua* showed that histomorphometric differences in the esophagus and glandular stomach become pronounced during the winter months (Shawki et al., 2022); this supports the notion that intestinal plasticity is seasonally shaped according to prey type.

4. **Ventricular muscle architecture:** The presence of a muscularis mucosae and the thick muscularis layer in the ventriculus provide the forceful contractions required for the mechanical grinding of hard structures such as bone and cartilage (Abumandour, 2013; Alsanosy et al., 2020; Lazareff, 2012) (Abumandour, 2013).
5. **Acidic–neutral nature of proventricular secretion:** The proventricular secretion of raptors contains both HCl and acidic mucus. The carnivorous diet requires pepsin active at low pH and intense proteolysis; this is consistent with the proventricular histochemical distinctiveness of the Falconiformes (Alsanosy et al., 2020; Lazareff, 2012; Mutlak & Faraj, 2024).
6. **High hepatic glycogen content:** The high glycogen storage in the Falconiformes liver is critical for the energy-intensive flight metabolism and thermoregulation (Jumaah, 2025; Umahara, 1963) (Jumaah, 2025); under metabolic stress, hepatic glycogen stores are mobilized (Kalashnikova & Фадеева, 2006).

3.9. Interspecies Comparisons and Differences from Close Relatives

Alsanosy et al.'s Galliformes–Falconiformes comparison and studies on other Falconiformes/Accipitriformes species demonstrate that the digestive histology of *F. tinnunculus* conforms to the typical Falconiformes pattern, while exhibiting significant differences from the Galliformes:

- **Esophagus:** In the kestrel, thin epithelium, absence of a muscularis mucosae, an inner longitudinal–outer circular muscle arrangement, and absence of a "true crop"; in GGD, thick epithelium, presence of a muscularis mucosae, an inner circular–outer longitudinal muscle arrangement, and a prominent crop. These differences can be associated with the low body-weight objective of Falconiformes consistent with flight adaptation (reduced requirement for heavy granivorous digestive organs).
- **Stomach:** The proventricular secretory profile, the presence of a ventricular muscularis mucosae, and the koilin structure support carnivorous adaptation (Abumandour, 2013; Alsanosy et al., 2020; Mutlak & Faraj, 2024) (Abumandour, 2013). The plicae of the *Circus aeruginosus* proventriculus and the plical folding pattern of *Tyto alba* (length 14.18 ± 0.08 mm, width 6.46 ± 0.17 mm) indicate a histomorphometry that is conserved among Falconiformes and other raptorial families while containing species-specific fine variation (Maher & Hussein, 2023; Mutlak & Faraj, 2024). In the Chinese goose, the localization of AB positivity in the luminal-facing portions of the glandular mucosa and of PAS positivity in the basal portions of the tubular glands constitutes a contrast to the acid-dominant proventricular secretory pattern of carnivorous Falconiformes, and enables cross-taxonomic comparison of the diet–histochemistry relationship.
- **Small intestine:** Goblet cell number and distribution, and the neutral-mucin-dominant secretory pattern, are consistent for the Falconiformes (Abumandour et al., 2024; Al-A'araji, 2017); in contrast, in granivores such as *Alectoris chukar*, goblet cell numbers are far higher (Goodarzi et al., 2021; Khayoon & Reshag, 2024b) (Khayoon & Reshag, 2024). In Al-Basheer's comparison with the guineafowl, it was further supported that the Falcon duodenum possesses a more disciplined mucus content than the omnivorous species.

- **Pancreas:** Unlike Galliformes and Anseriformes species, the pancreases of the Falconidae and Accipitridae exhibit a more regular lobar distribution of alpha/beta islets, and insulin-immunopositive cells have been reported to be densely localized in the center of the beta islets (Al-Haak, 2019; Kara et al., 2014; Şimşek et al., 2009).
- **Liver:** The histological architecture is avian in principle; however, in Falconiformes, glycogen storage and hepatic cord organization (hepatic cylinder type) are markedly distinct (Jumaah, 2025; Kara et al., 2019; Umahara, 1963) (Jumaah, 2025).

Preja et al.'s comparison of *F. tinnunculus* and *Tyto alba* highlighted the morpho-histological differences shaped by feeding strategy even among carnivorous species: the tomial tooth is present in *F. tinnunculus* but absent in *T. alba*; the *T. alba* esophagus is distensible along its entire length, whereas the kestrel has an ingluvies and a less distensible esophagus; and the cecum is long and bilobed in *T. alba* while vestigial in the kestrel (Preja et al., 2023a). These differences support the adaptation of the two species to different prey spectra and prey-capture mechanics. In Preja et al.'s broader 26-species study, the topography of the ingluvies was shown to vary by species (cranial esophagus in *Falco* and *Accipiter*, caudal in *Pandion haliaetus*), and the proventricular plicae were shown to exhibit different depths at the taxonomic group level (Preja et al., 2023b).

3.10. Entero-Endocrine and Metabolic Regulation

Immunohistochemical studies on Falconiformes and Accipitriformes species have revealed that the gastrointestinal entero-endocrine system exhibits different distribution patterns (Kara et al., 2014; Kara & Balkaya, 2022; Şimşek et al., 2009):

- **Pancreas:** In *F. naumanni* and *A. nisus*, the alpha islets have been reported to be concentrated in the center of the splenic lobe and the beta islets in the periphery (Al-Haak, 2019; Kara et al., 2014; Şimşek et al., 2009); this is a lobe-specific arrangement that differs from the Galliformes and resembles the Anseriformes.
- **Gastrointestinal canal:** The density of serotonin-immunopositive cells in the duodenum and jejunum of *A. nisus* suggests that intestinal motility in *F. tinnunculus* may also be serotonin-dependent in its regulation; however, direct immunohistochemical data for *F. tinnunculus* are lacking.
- **Proventricular and ventricular entero-endocrine cells:** In *A. nisus*, high gastrin immunopositivity in the proventriculus and high somatostatin immunopositivity in the ventriculus support the possible existence of a similar arrangement in Falconiformes; however, direct immunohistochemical data for *F. tinnunculus* are lacking.

3.11. Antioxidant Defense and Comparison of Histochemical Findings

The detection of catalase immunoreactivity in the lamina propria and submucosa of the *Buteo buteo* small intestine (TAŞCI et al., 2017) supports the presence of an active redox defense system in the intestinal mucosa of raptors. This may be related to the potential of prey with high protein and iron content to generate reactive oxygen species in the intestinal mucosa.

Lectin histochemistry is a powerful tool for comparing the intestinal mucus structure of bird species with different foraging strategies. In Madrid et al.'s study of five vertebrate species, glycoproteins were reported to show a heterogeneous distribution in goblet cells along the villi, and Paneth cells to stain with Con-A (Madrid et al., 1989); this is consistent with the pattern expected in *F. tinnunculus* as well.

Al-Basheer's 2025 study revealed that the goblet cells of the Falcon duodenum contain acidic + neutral mucopolysaccharides, and this finding partially diverged from Al-A'araji's characterization of neutral mucin (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017) (araji, 2017). Such

discrepancies may be attributable to differences in histochemical methodology and to segment-specific mucus dynamics; in future studies, the application of a standardized lectin panel (DBA, RCA120, WGA, Con-A) may resolve this contradiction (Alsanosy et al., 2020; Madrid et al., 1989) (Madrid et al., 1989).

3.12. Pathological and Clinical Context

In Rossi et al.'s parasitological–histopathological study of 18 raptors in Italy (*Buteo buteo*: 4, *Accipiter nisus*: 3, *Pernis apivorus*: 2, *Falco tinnunculus*: 2, *Tyto alba*: 1, *Athene noctua*: 6), various parasitic and bacterial agents were detected in the digestive canal; histological examination was performed using 10% neutral buffered formalin fixation, 3 µm paraffin sections, and H&E staining; this study supports the reference points of the normal histology data and has clarified the boundary between normal tissue and pathological changes.

3.13. Historical and Methodological Limitations

Several of the primary sources reviewed are at only the macroscopic or light microscopic level (e.g., Gao, 2004) (Qian-rui, 2004); more recent studies employ advanced methods such as electron microscopy, immunohistochemistry, and lectin histochemistry (e.g., Abumandour et al., 2024; Alsanosy et al., 2020; Kara et al., 2014; Şimşek et al., 2009; Taşçı et al., 2017). Consequently, the cellular detail of the early studies is limited, and most of the ultrastructural data are based on studies published after 2020. In addition, direct Falcon species-specific data on the liver and cloacal histology of the common kestrel are scarce; these gaps have been filled with data from related species (Kadhim et al., 2019; Mikkola, 2023; Santos, 2016; Silva et al., 2022; Umahara, 1963) (Santos, 2016).

A further limitation is that in some studies the kestrel species name appears with different spellings (*tinnunculus*, *tinniculus*, *tunnuculus*) (Al-Basheer, 2025; Al-A'araji, 2017; Preja et al., 2023a); this complicates the construction of comparative histomorphometric tables. In this review, the spelling *tinnunculus* has been used, and the spelling preferred in each article has been retained.

3.14. Functional Inferences

The histology of the digestive system of *F. tinnunculus* supports the following functional inferences:

- Mechanical fragmentation of prey begins with the beak's tomial tooth and the tongue's papillae; the Falconidae tomial tooth provides rapid immobilization through severing of the spinal column or crushing of the head. Prey-capture success is further supported by the foot structure (talons) of the Falconini.
- Chemical digestion begins with the proventriculus's acidic–neutral HCl–pepsinogen secretion; the ventriculus, lined by the koilin layer, supports mechanical grinding (Abumandour, 2013; Alsanosy et al., 2020) (Abumandour, 2013).
- Nutrient absorption is supported by the small intestine's extensive microvillous surface and well-developed Paneth cells (release of defense peptides); the short but dense villus architecture enables the efficient processing of the high protein load of the carnivorous diet (Abumandour et al., 2024; Al-A'araji, 2017).
- Water–electrolyte balance is supported by the mucus produced by the numerous goblet cells of the rectum and by the thick muscularis externa; in addition, the liver's glycogen storage capacity is critical for energy metabolism and thermoregulation (Jumaah, 2025; Kalashnikova & Fadeeva, 2006).
- Immune defense: Paneth cells in the small intestine, lymphoid tissue in the cecum and large intestine, intestinal lymphatic follicles, mucosal antioxidative enzymes (catalase),

and the endocrine islets of the pancreas together ensure intestinal immune homeostasis (Almeida et al., 2018; Kara et al., 2014; Taşçı et al., 2017).

- Antioxidant defense has been confirmed by hepatic and intestinal catalase immunoreactivity, demonstrating that redox homeostasis is actively maintained at the level of the small intestine and liver in raptors (Taşçı et al., 2017).

4. CONCLUSION

This review demonstrates that the digestive system of the common kestrel (*Falco tinnunculus*) constitutes a specialized, multi-segmented structure adapted to the ecological requirements of an opportunistic carnivorous raptor. In prey capture and killing, the tomial tooth, the posteriorly curved beak, the bifid-papillated tongue, and the acidic mucus secretion of the lingual glands function in concert. In the absence of a true crop, the thin, mucus-gland-bearing esophagus serves as a flexible transit region supporting the low body-mass objective; the proventriculus, with its acidic-neutral mucopolysaccharide secretion, connects directly to the ventriculus without an intervening region, and the ventriculus—by virtue of its thick muscularis layer, the presence of a muscularis mucosae, and its koilin cuticle—mechanically grinds hard prey components such as bone and cartilage. The small intestine, with its tall villi and increasing goblet cell density toward the distal segments, accomplishes the rapid absorption of the protein and lipid load and intestinal immune defense; the vestigial cecum reflects the superfluity of cellulose fermentation, while the rectum, bearing numerous goblet cells, reflects the controlled evacuation of feces. While the liver's dense glycogen storage constitutes a reserve for flight metabolism and thermoregulation, the three-lobed pancreas—with its serous acini and heterogeneously sized islets of Langerhans (small islets $40.02 \pm 0.9 \mu\text{m}$; large islets $126.3 \pm 3.8 \mu\text{m}$)—carries out exocrine and endocrine functions in an integrated manner. This picture offers a reference framework for comparative histomorphometry, rehabilitation, and environmental pollutant monitoring programs in the species' different ecological populations; for future studies, the three-compartment histology of the cloaca, seasonal histomorphometry, the mapping of intestinal glycoprotein subtypes by lectin histochemistry, and the immunohistochemical localization of gastrointestinal entero-endocrine cells are proposed.

REFERENCES

- Abumandour, mohammed, Farrag, F., Kandyel, R., Khalil, E. K., Hamouda, H., Elnegiry, A. A., Shukry, M., & Mohamed, M. Y. (2024). *Ultrastructural Study of the Digestive System in the Common Kestrel (Falco tinnunculus)*. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2024.278613.1950>
- Abumandour, M. M. A.-R. (2013). *Morphological studies of the stomach of falcon*. <https://doi.org/10.14196/sjva.v2i3.295>
- Al-Basheer, A. (2025). Histochemical study of the duodenum in two types of bird's Guinea fowl (*Numidia meleagris*) and Falcon (*F. tinnunculus*). *Muthanna Journal for Agricultural Sciences*, 12(1). <https://doi.org/10.52113/mjas04/12.1/14>
- Al-Haaik, A. G. (2019). A gross anatomical and histological study of pancreas in adult Kestrel (*Falco tinnunculus*). *Al-mağalla' al- 'irāqiyya' Li-l- 'ulūm al-Bayṭariyya' /Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 33(2), 175–180. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2019.162960>
- Almeida, W. M., Fraga, K. B., Júnior, F. C., & Magalhães, C. P. (2018). *Histological Analysis Of The Intestinal Tract Of Caracara plancus (Miller, 1777)* [Data set]. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7508024>
- Al-Saffar, F. J., & Al-Samawy, E. R. M. (2016). *Histomorphological and Histochemical Study of the Small Intestine of the Striated Scope Owls (Otus Brucei)*. <https://doi.org/10.3923/sjchbio.2016.1.10>

- Al-Samawy, E. R. M., Hasan, M., & Mishal, H. F. (2024). *Comparative Study Of The Pancreas Histological And Histochemical In Barn Owl (Tyto Alba) And Black Francolin (Francolinus)*. <https://doi.org/10.61796/jmgcb.v1i7.738>
- Alsanosy, A. A., Noreldin, A. E., Elewa, Y. H. A., Mahmoud, S. F., Elnasharty, M., & Aboelnour, A. (2020). Comparative Features of the Upper Alimentary Tract in the Domestic Fowl (*Gallus gallus domesticus*) and Kestrel (*Falco tinnunculus*): A Morphological, Histochemical, and Scanning Electron Microscopic Study. *Microscopy and Microanalysis*, 27(1), 201–214. <https://doi.org/10.1017/s1431927620024812>
- Al-A'araji, A. S. A.-A. (2017). *A comparative anatomical, histological and histochemical study of small intestine in Kestrel (Falco tinnunculus) and white eared bulbul (Pycononotus leucotis) according to their food type*. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v40i2.109>
- Bozkurt, E., Gültiken, M. E., Yildiz, D., & Bolat, D. (2018). *Ultrastructure of the tongue and histochemical features of the lingual salivary glands in buzzards*. <https://doi.org/10.3906/vet-1708-31>
- Çıraklı, A. B., & Kuloğlu, H. Y. (2024). Anatomical, Histological and Transmission Electron Microscopic Examination of Liver in Chinese Goose (*Anser cygnoides*). *Indian Journal of Animal Research*. <https://doi.org/10.18805/ijar.bf-1732>
- Deniz, T., & Kuloğlu, H. Y. (2024). Gross Anatomical, Histological, Histochemical and Scanning Electron Microscopic Examination of Glandular Stomach of Chinese Goose. *Indian Journal of Animal Research*. <https://doi.org/10.18805/IJAR.BF-1876>
- El-Beltagy, A. E.-F. B. M. (2013). Comparative Studies on the Tongue of White-throated Kingfisher (*Halcyon smyrnensis*) and Common buzzard (*Buteo buteo*). *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. D, Histology and Histochemistry*, 4(1), 1–14. <https://doi.org/10.21608/eajbsd.2013.14137>
- Emura, S., Okumura, T., & Chen, H. (2008). *Scanning Electron Microscopic Study of the Tongue in the Peregrine Falcon and Common Kestrel*. <https://doi.org/10.2535/ofaj.85.11>
- Erdoğan, S., Pérez, W., & Alan, A. (2012). *Anatomical and scanning electron microscopic investigations of the tongue and laryngeal entrance in the long-legged buzzard (Buteo rufinus, crettschmar, 1829)*. <https://doi.org/10.1002/jemt.22057>
- Fowler, D. W., Freedman, E. A., & Scannella, J. B. (2009). Predatory Functional Morphology in Raptors: Interdigital Variation in Talon Size Is Related to Prey Restraint and Immobilisation Technique. *PLoS ONE*, 4(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007999>
- Franzo, V. S., Oliveira, L. P. de, Viana, A. C. P., Ramos, A. T., Bertolino, J. F., Adorno, B. A., Araújo, D. P., Amoroso, L., & Vulcani, V. A. S. (2021). *Histological analysis of the tongue, esophagus and crop of Southern Carcará (Polyborus plancus)*. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12439>
- Goodarzi, N., Bazm, M. A., Poladi, S., Rashidi, F., Mahmoudi, B., & Abumandour, M. M. A. (2021). Histology of the small intestine in the common pheasant (*Phasianus colchicus*): A scanning electron microscopy, histochemical, immunohistochemical, and stereological study. *Microscopy Research and Technique*, 84(10), 2388–2398. <https://doi.org/10.1002/jemt.23794>
- Jones, L. R., Berns, C. M., Belk, M. C., & Bogardus, R. M. (2024). Bill shape reflects divergent prey consumption for island compared to mainland American kestrels (*Falco sparverius*). *Biological Journal of the Linnean Society*, 143(2). <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blae007>

- Jumaah, Y. R. (2025). *Histological study of the liver gland in falcon fowl*. <https://doi.org/10.33545/27080013.2025.v6.i1c.214>
- Kadhim, K. H., Sadiq, D. H., & Hussein, D. M. (2019). Histomorphological and Histochemical Study of the Healthy Liver and Pancreas of Local Adult Homing Pigeon (*Columba Livia Domestica*). *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 10(5), 494. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.01052.0>
- Kalashnikova, M. M., & Фадеева, E. O. (2006). *Ultrastructural study of liver cells from rooks living in ecologically unfavorable areas*. <https://doi.org/10.1134/s1062359006020014>
- Kara, A., Tekiner, D., Şimşek, N., Balkaya, H., & Özüdöğru, Z. (2014). Distribution and Location of Endocrine Cells in the Pancreas of the Sparrowhawk, *Accipiter nisus*. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2013.10096>
- Kara, H., Özüdöğru, Z., Balkaya, H., & Özdemir, D. (2019). Morphologic and Histologic Observation of Red-Legged Partridge's (*Alectoris Chukar*) Liver. *Van Veterinary Journal*, 30(3), 159–161. <https://doi.org/10.36483/vanvetj.547719>
- Kara, H., & Balkaya, H. (2022). A Histochemical and Immunohistochemical Study on the Gastrointestinal Tract of Sparrowhawk (*Accipiter nisus*). <https://doi.org/10.4067/s0717-95022022000100242>
- Khaleal, I. mousa. (2017). A comparative histological study of ceca and rectum in common kestrel (*Falco tinnunculus*) and white-eared bulbul (*Pycnonotus leucotis*) according to their food type. *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 40(2), 48–56. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v40i2.111>
- Khayoon, E., & Reshag, A. F. (2024a). Morphological and Histological study of stomach (proventriculus and ventriculus) of adult partridge (*Alectoris chukar*) in south of Iraq. *Egyptian Journal of Veterinary Science*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2024.272697.1972>
- Khayoon, E., & Reshag, A. F. (2024b). *Comparative Histomorphological study of small intestine between Harrier (*Circus cyaneus*) and Partridge (*Alectoris chukar*) in Iraq*. <https://doi.org/10.54174/utjagr.v13i1.318>
- Lazareff, A. E. (2012). The comparative histology of the esophagus and stomach of birds of different food habits. *Open Collections*. <https://doi.org/10.14288/1.0106805>
- Madrid, J. F., Ballesta, J., Castells, M. T., Marín, J. A., & Pastor, L. M. (1989). *Characterization of glycoconjugates in the intestinal mucosa of vertebrates by means of lectin histochemistry*. <https://doi.org/10.1267/ahc.22.1>
- Maher, M., & Hussein, S. (2023). Anatomical distribution of celiac artery with histochemical investigation to the proventriculus of barn owl (*Tyto alba*). *Zoomorphology*, 142(2), 201–213. <https://doi.org/10.1007/s00435-023-00595-7>
- Mikkola, H. (2023). Birds - Conservation, Research and Ecology. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1000275>
- Mutlak, B. H., & Faraj, S. S. (2024). Morpho-Histological Study Of The Proventriculus Of Eurasian Marsh Harrier *Circus Aeruginosus* (Linnaeus, 1766 (Aves, Accipitriiformes, Accipitridae). *Bulletin of The Iraq Natural History Museum*, 18(1), 139–150. <https://doi.org/10.26842/binhm.7.2024.18.1.0139>
- Olmedo, L. A., Samar, M. E., Re, A., Crosa, M. G. de, & Dettin, L. E. (2000). *Avian minor salivary glands: an ultrastructural study of the secretory granules in mucous and seromucous cells*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15211928>

- Preja, A. I., Cipou, M., Stermin, A. N., & Damian, A. (2023). Macroscopic comparative aspects among two species of birds of prey: *Falco tinnunculus* (Common kestrel) and *Tyto alba* (Barn owl). *Cluj Veterinary Journal*, 28(1), 1–13. <https://doi.org/10.52331/cvj.v28i1.45>
- Preja, A.-I., Cipou, M., Martonos, C., Stermin, A. N., & Damian, A. (2023). The Comparative Anatomy of the Upper Digestive System in 26 Species of Zoophagous-Polyphagous Palearctic Birds. *International Journal of Morphology*, 41(5), 1336–1342. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022023000501336>
- Qian-rui, G. (2004). *Morphological observation of digestive system of Falco Tinnunculus*. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-HNSX200401018.htm
- Rossi, G., Terracciano, G., Gherardi, R., Galosi, L., & Perrucci, S. (2021). Parasites, Bacteria, and Associated Pathological Changes in the Digestive System of Diurnal and Nocturnal Raptors in Central Italy. *Pathogens*, 10(12), 1567. <https://doi.org/10.3390/pathogens10121567>
- Ruzhanova-Gospodinova, I. (2024). *Bill shape variation in selected species in birds of prey*. <http://hdl.handle.net/20.500.12641/72554>
- Santos, A. L. Q. (2016). *Estudo anatomo-topográfico do tubo digestório das espécies Athene cunicularia (Strigiformes, Strigidae) e Tyto alba (Strigiformes, Tytonidae)*. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v16n12.1334>
- Shawki, N. A., Mahmoud, F. A., & Mohamed, M. Y. (2022). Seasonal Variations in the Digestive Tract of the Little Owl, *Athene noctua*: Anatomical, Histological, and Scanning Electron Microscopical Studies. <https://doi.org/10.1017/s1431927622000368>
- Silva, E. F. de A., Silva, J. G. M. da, Silva, F. A. da, Santos, M. C. L., Galvão, A. P. O., Júnior, F. C. A. de A., García, J. E., & Magalhães, C. P. (2022). Macroscopic morphometry and histology of the intestinal tract of Roadside Hawks (*Rupornis magnirostris*, GMELIN, 1788). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 2985–3000. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-031>
- Şimşek, N., Bayraktaroğlu, A. Gürol, & Altunay, H. (2009). Localization of insulin immunopositive cells and histochemical structure of the pancreas in falcons (*Falco naumanni*). <https://dergipark.org.tr/tr/pub/auvfd/issue/44743/556117>
- Taşçı, S. K., Deprem, T., Bingöl, S. A., & Akbulut, Y. (2017). *Şahin (Buteo buteo) İnce Bağırsak ve Karaciğerinin Anatomik ve Histolojik Yapısı İle Katalazın İmmunohistokimyasal Lokalizasyonu*. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2017.18333>
- Umahara, Y. (1963). Histologische Studien über die Leber von Vögeln nebst Bemerkungen der ‘Fettspeicherungszellen’ (‘fat-storing cells’). *Archivum histologicum japonicum*, 23(3), 253–282. <https://doi.org/10.1679/aohc1950.23.253>
- Yan, Y. (2005). *Morphological Observation on Digestive System of Athene noctua*. https://en.cnki.com.cn/article_en/cjfdtotal-scdw200502022.htm

ÖTÜCÜ VE YIRTICI KUŞLARDA KARACİĞER HİSTOLOJİSİ: SAKA KUŞU (*CARDUELIS CARDUELIS*) VE ULU DOĞAN (*FALCO CHERRUG*) ODAĞINDA KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi Hatice YAREN KULOĞLU

Aksaray University, Faculty of Veterinary, Department of Histology and Embryology,
68000, Merkez, Aksaray

ORCID ID: 0000-0003-0435-4677

ÖZET

Karaciğer, kuşlarda metabolizma, detoksifikasyon, safra üretimi, protein sentezi ve glikojen depolanması gibi pek çok hayati işlevin merkezinde yer alan, bilateral (sağ ve sol loblu) büyük bir glandüler organdır. Bu derleme, farklı yaşam stratejilerine sahip iki kuş türü olan saka kuşu (*Carduelis carduelis*) ve ulu doğanın (*Falco cherrug*) karaciğer histolojisini karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Saka kuşu, küçük boyutlu, tohum ağırlıklı beslenen ve yüksek aerobik metabolizma gösteren bir ötücü tür iken; ulu doğan yırtıcı, etçil ve uçuş metabolik talepleri son derece yüksek bir Falconiformes üyesidir.

Her iki türe özgü spesifik bir karaciğer histolojisi çalışması mevcut literatürde bulunmadığından, derlemede yakın akraba türlerden elde edilen veriler temel alınmıştır. Saka kuşu için Fringillidae ve Passeriformes familyasından *Eophona*, *Serinus*, *Parus*, *Emberiza* ve *Sturnus vulgaris* türlerine ilişkin gözlemler; ulu doğan için ise Falconiformes ve Raptoriformes takımından *Falco tinnunculus*, *Accipiter nisus*, *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris* ve *Coragyps atratus* türlerine ilişkin veriler referans olarak kullanılmıştır. Değerlendirmede ışık ve elektron mikroskobu düzeyinde yapılan incelemeler ile H&E, Masson's trikrom, PAS, alcian blue, Sudan black B, retikülin gümüşleme ve Best'in karmin gibi histokimyasal yöntemler dikkate alınmıştır. Muralium düzeni, poligonal hepatositler, sinüzoidal ağ, Kupffer hücreleri ve portal triad bileşenleri her iki grupta paylaşılan ortak avian temel histolojik planı oluşturmaktadır.

Karşılaştırmalı analiz sonucunda iki grup arasındaki en belirgin histolojik farklılık hepatik kordon morfolojisinde ortaya çıkmaktadır: ötücülerde hepatik plak modeli, Falconiformes üyelerinde ise hepatik silindir modeli gözlenmektedir. Falconiformes karaciğerinde PAS ile doğrulanan yaygın ve güçlü glikojen birikimi ile Masson's trikrom boyamada sınırlı bağ dokusu iskeleti saptanmış olup bu bulgular yüksek uçuş metabolizmasının gerektirdiği adaptasyonla ilişkilendirilmiştir. Passeriformes'a geçişte hepatosit çapının arttığı ve karaciğerin vücut ağırlığına oranının azaldığı bildirilmiştir. Her iki grupta da hepatositlerin yoğun paketlenmiş çok sayıda büyük mitokondriyon içermesi, kuşlara özgü enerji adaptasyonu olarak değerlendirilmiştir. Derleme sonucunda, her iki türün karaciğer histolojisinin ortak avian temel plan üzerine inşa edildiği ancak familya ve takım düzeyinde ayırt edici hücresel mimari ve metabolik adaptasyon farkları taşıdığı; doğrudan tür örneklemelerine dayalı sistematik histomorfometrik çalışmaların gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Saka kuşu karaciğeri, ulu doğan karaciğeri, avian hepatik histoloji, glikojen depolanması, Falconiformes

LIVER HISTOLOGY IN SONGBIRDS AND RAPTORS: A COMPARATIVE STUDY FOCUSING ON THE EUROPEAN GOLDFINCH (*Carduelis carduelis*) AND THE SAKER FALCON (*Falco cherrug*)

ABSTRACT

The liver is a large bilobed (right and left lobes) glandular organ situated in the cranial third of the abdominal cavity, and it serves as the center of numerous vital functions in birds, including metabolism, detoxification, bile production, protein synthesis, and glycogen storage. This review aims to comparatively examine the hepatic histology of two bird species with distinct life strategies: the Eurasian goldfinch (*Carduelis carduelis*), a small-bodied, predominantly granivorous passerine with high aerobic metabolism, and the saker falcon (*Falco cherrug*), a raptorial, carnivorous member of the order Falconiformes with extremely high flight metabolic demands.

Since species-specific hepatic histological studies are not available in the current literature for either bird, observations obtained from closely related taxonomic relatives have been used as the primary reference framework. For the goldfinch, data from members of the families Fringillidae and Passeriformes — including *Eophona*, *Serinus*, *Parus*, *Emberiza*, and *Sturnus vulgaris* — were consulted; for the saker falcon, data from members of the orders Falconiformes and Raptoriformes — including *Falco tinnunculus*, *Accipiter nisus*, *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris*, and *Coragyps atratus* — were used. The evaluation considered light and electron microscopic findings together with histochemical applications such as H&E, Masson's trichrome, PAS, alcian blue, Sudan black B, reticulin silver impregnation, and Best's carmine. The shared avian hepatic histological plan in both groups includes the muralium arrangement, polygonal hepatocytes, the sinusoidal network, Kupffer cells, and the components of the portal triad.

The comparative analysis revealed that the most prominent histological distinction between the two groups lies in hepatic cord morphology: passerines display the hepatic plate model, whereas Falconiformes members display the hepatic cylinder model. In Falconiformes livers, widespread and intense PAS-positive glycogen accumulation together with a limited connective tissue skeleton on Masson's trichrome was considered an adaptation to the metabolic demands of high-intensity flight. A trend toward increasing hepatocyte diameter and decreasing liver-to-body weight ratio with progression toward Passeriformes has been reported. In both groups, hepatocytes are characterized by densely packed, large mitochondria in high numbers, which is regarded as an avian-specific energetic adaptation. The review concludes that although both species share a common avian histological plan, they exhibit distinctive cellular architectural and metabolic adaptive differences at the family and order levels, and emphasizes the need for systematic histomorphometric studies based on direct species-specific samples.

Keywords: Goldfinch liver, saker falcon (*Falco cherrug*), avian hepatic histology, glycogen storage, Falconiformes

1. INTRODUCTION

The liver is defined as a large, bilateral glandular organ (with right and left lobes) located in the cranial third of the abdominal cavity, and it occupies a central position in vital functions in birds such as metabolism, detoxification, bile production, protein synthesis, and glycogen storage (Elias, 1955; Faraj & Al-Bairuty, 2017). Liver tissue has long been regarded as a fundamental reference organ in comparative histological investigations. In 1955, Elias demonstrated that the liver in all vertebrates is constructed according to a common structural plan, termed the

"muralium," formed by the tunneling of a continuous cell mass by a lacunar network of spaces. The counterpart of this basic structural plan within the class Aves was systematized by the comprehensive sampling study of 14 families conducted by Hickey and Elias. While the researchers observed hepatic plates two cells thick in the liver of the domestic chicken (*Gallus gallus*), they detected plates one cell thick in the Eastern meadowlark (*Sturnella magna*); these findings constitute the first comparative evidence for the existence of two architecturally distinct models within the avian liver. The same categorical framework was also confirmed by Faraj and Al-Bairuty in their investigation of *Sturnus vulgaris* (migratory starling), in which hepatocytes were reported to be organized irregularly and radially into cords or plates of one or two cells in thickness, hepatic plates with one or two branches were located around the central vein, and pericentral/perilobular PAS-positive glycogen accumulation was pronounced. Zaefarian et al. ([Zaefarian et al., 2019](#)), in their review entitled "Avian Liver: The Forgotten Organ," emphasized that the metabolic burden and histological diversity of the liver in poultry species should not be overlooked, drawing attention to the physiological and clinical importance of this organ.

Avian hepatic histology exhibits marked architectural and histochemical differences at the supra-family level. In the comparative histological and histochemical study conducted by Hamodi et al. ([Hamodi et al., 2013](#)) on three bird species with different feeding strategies (*Larus canus*, *Agapornis fischeri*, *Numida meleagris*), it was reported that hepatic plate thickness, hepatocyte size, and histochemical staining profiles with PAS, alcian blue, Sudan black B, and bromophenol blue differed significantly among the species. Similarly, the comparative anatomical and histological investigation by Khadhim et al. across various Iraqi bird species demonstrated that the avian liver carries a common basic plan — a bilateral organ enclosed by a Glisson capsule, with polygonal hepatocytes organized in cords around the central vein, sinusoids lined with endothelial and Kupffer-like cells, and a portal triad composed of the hepatic artery, portal vein, bile duct, and lymphatic vessels — while confirming the existence of species-specific differences in line with ecological adaptations, feeding habits, and evolutionary traits. This framework also applies to species within the order Passeriformes and species within the order Falconiformes, necessitating detailed histological and histomorphometric examination of both groups.

The goldfinch (*Carduelis carduelis*) is a Passeriformes species belonging to the family Fringillidae, characterized by a small body size, predominantly granivorous feeding, and high aerobic metabolism. Although no direct publication on the hepatic histology of the goldfinch exists in the literature, in the study conducted by Al-Seady ([Al-Seady, 2025](#)) under the title "Histological Investigation of the Proventriculus in the Local Fringillidae (*Carduelis carduelis*)," the glandular stomach wall histology of the goldfinch was described on the basis of four fundamental layers — tunica mucosa, tunica submucosa, tunica muscularis, and tunica serosa; it was reported that the mucosa bears deep folds lined with simple columnar epithelium, tubular glands surrounded by thick connective tissue and intense vascularization were observed in the submucosa, and the muscularis consisted of inner circular and outer longitudinal smooth muscle layers. This study is of unique value in providing current and species-specific data on the tissue architecture of the family to which the goldfinch belongs. Additional references concerning the digestive system anatomy of the order Passeriformes, to which the goldfinch belongs, were obtained from the macro-anatomical study conducted by Christov et al. ([Christov et al., 2017](#)) on the domestic canary (*Serinus canaria*) and from the investigation carried out by Hristov ([Христов & tehnologija, 2020](#)) on the same species using age-dependent

morphological and imaging-anatomical methods. Hristov ([Христов & tehnologija, 2020](#)) examined 28 canary individuals distributed across five age groups from two days to three years of age using anatomical, histological, imaging-anatomical, and morphometric methods; it was reported that the proventriculus is located in the left cranial quadrant of the cavity at the boundary of the 3rd–7th rib planes, that the longitudinal layer of the tunica muscularis is discontinuous, and that the most intense post-hatch ontogenetic growth occurs by the eighth day. Although these studies are not directly liver-focused, they provide a framework for evaluating the macro-anatomical neighborhood, vascular relationships, and histological plan of the Passeriformes liver.

The saker falcon (*Falco cherrug*) is a raptorial, carnivorous species belonging to the family Falconidae of the order Falconiformes, with extremely high flight metabolic demands. Owing to its globally declining population, the saker falcon is monitored under international conservation status, and its maximum lifespan under captive conditions was recently updated; Petrov and Cholakova ([Petrov & Cholakova, 2025](#)) reported an individual reaching 31 years of age at the Green Balkans Wildlife Rehabilitation and Breeding Center in the city of Stara Zagora, Bulgaria, thereby recording a new lifespan record for the subspecies *Falco cherrug cherrug*. Lazarova et al. ([Lazarova et al., 2021](#)) reported that within the saker falcon re-introduction program covering the period 2015–2020, 80 individuals were released by the hacking method at a mean age of 32 days (31.74 ± 0.84 and 32.34 ± 0.40 ; $P = 0.47$); thus, reference values concerning the conservation biology and longevity potential of the species have been updated. In one of the studies providing direct measurements on the macro-anatomical composition of the Falconiformes liver, Tavares et al. recorded the organ weights relative to body weight in 10 adult male Caracara (*Caracara plancus*) individuals (mean body weight 926.6 ± 71.7 g) in Fortaleza, Brazil, as follows: 1.07% for the heart, 0.06% for the spleen, 1.58% for the stomach, 1.54% for the liver, 0.11% for the pancreas, and 1.98% for the intestine. It is reported that across the Falconiformes family in general, the liver-to-body weight ratio may reach up to 2.5%, and in *Caracara plancus* the hepatic attenuation value measured by computed tomography averaged 52.47 ± 6.41 HU (range 47.89–57.06 HU).

One of the studies in which the order Falconiformes was examined in greater histopathological and histomorphometric detail was conducted by Barbosa et al., in which the liver and pancreas tissues of *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris*, and *Coragyps atratus* were compared histomorphometrically; it was reported that in all three species the general tissue composition of hepatocytes was consistent with other non-raptorial bird species, that low glycogen concentration was detected in hepatocytes by PAS histochemistry, and that significant differences were found among the species in terms of nuclear area, total nuclear count, mononuclear and binuclear cell ratios, and reticulin fiber density. While *C. plancus* and *R. magnirostris* were similar to each other in these parameters, *C. atratus* was reported to differ from both; these differences were evaluated as reflecting adaptations to different feeding habits. In a study addressing the liver histopathology of *Falco tinnunculus* (common kestrel), a member of the same order, and reporting that a nematode species (*Procyrnea leptoptera*) caused chronic-active inflammatory changes in the liver tissue, Haroun and Taha stated that liver sections were embedded in paraffin at 5 μ m thickness, stained with H&E, and examined under an Olympus CX31 microscope. In addition to Lazarova et al., the study by Rossi et al., in which parasites, bacteria, and associated pathological changes were investigated in the digestive systems of diurnal and nocturnal raptors in central Italy, documented hepatic lesions in numerous Falconiformes and Accipitriformes species, particularly *F. tinnunculus* and *Accipiter nisus*. The

investigation by Jumaah ([Jumaah, 2025](#)) using H&E, Masson's trichrome, and PAS histochemical methods in an avian model termed "falcon fowl" revealed the presence of hepatocytes arranged in hepatic cords with broad cytoplasm, large nuclei, and intense glycogen storage in the Falconiformes liver, the presence of a minimal connective tissue skeleton on Masson's trichrome staining, and the confirmation of widespread and intense glycogen accumulation on PAS staining. In the same study, these histological features were associated with the energetic demands required by high metabolic activity, flight, and predatory behavior. When the entirety of this literature framework is evaluated, it is evident that no publication directly compares the hepatic histology of the goldfinch (*Carduelis carduelis*) and the saker falcon (*Falco cherrug*) with species-specific data, and that the knowledge gap clearly persists for both species. This review aims to comparatively evaluate the hepatic histology of, on the one hand, the goldfinch — a small-bodied, granivorous, high-aerobic-metabolism Passeriformes species — and, on the other, the saker falcon — a raptorial and carnivorous Falconiformes species with very high flight metabolic demands — based on data obtained from closely related species (*Eophona*, *Serinus*, *Parus*, *Emberiza*, and *Sturnus vulgaris* for Passeriformes; *Falco tinnunculus*, *Accipiter nisus*, *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris*, and *Coragyps atratus* for Falconiformes), given the absence of species-specific direct publications; to reveal the common avian basic histological plan along with species-specific differences; and to establish a reference framework for future histomorphometric studies based on direct species sampling.

2. MATERIALS AND METHODS

This review was prepared through the systematic screening of the available literature on the hepatic histology of the goldfinch (*Carduelis carduelis*) and the saker falcon (*Falco cherrug*) and their comparative synthesis. The data sources were structured as follows:

Direct species data: In the absence of histological publications specific to *Carduelis carduelis* and *Falco cherrug*, studies of species directly related to the genera *Carduelis* and *Falco* were used preferentially. Studies concerning *Falco tinnunculus*, which belongs to the same genus as *Falco cherrug*, were taken as the primary histological reference point for *Falco* species. *Serinus canaria* (canary) studies within the same family as *Carduelis* served as the reference for the goldfinch anatomical data ([Christov et al., 2017](#)).

Family/order-level data: For the goldfinch, histological studies belonging to the Fringillidae and Passeriformes (*Eophona personata*, *Corvus corone*, *Lanius bucephalus*, *Emberiza cioides*, *Parus major*, *Alauda arvensis*, *Motacilla cinerea*, *Phoenicurus aureus*, etc.) were taken as the basis (Faraj & Al-Bairuty, 2017; Lü, 2011; UMAHARA, 1963). For the saker falcon, histological studies belonging to the orders Falconiformes and Raptors, covering *Accipiter nisus*, *Strix uralensis*, *Asio flammeus*, and Falconiformes in general, were used as references (Jumaah, 2025; UMAHARA, 1963).

General inclusive avian data: For the muralium concept, the basic plan of avian liver histology, and metabolic zonation, the studies of Elias, Hickey and Elias, Umahara, Ohata et al., Bahador et al., Martini et al., and Berndt et al. were utilized (Berndt et al., 2018; Elias, 1955; Hickey & Elias, 1954; Martini et al., 2023; Ohata et al., 1982; UMAHARA, 1963).

Histotechnical methods: Information on the staining methods used in histological examinations and the purpose of each was compiled from the methodological information reported in the studies. As standard, H&E (general morphology), Masson's trichrome / Mallory trichrome (connective tissue), PAS (glycogen and neutral mucopolysaccharides), alcian blue (acidic mucopolysaccharides), Sudan black B (lipid), Best's carmine (glycogen), reticulin silver

impregnation (reticular fiber network), and Heidenhain's iron hematoxylin / Azan (cellular detail) methods were used. In Falconiformes samples, 5 µm-thick paraffin-embedded sections were stained with H&E (Haroun & Taha, 2022; Jumaah, 2025).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Hepatic Histology of the Goldfinch (*Carduelis carduelis*)

Anatomy and Localization

Direct publications on the hepatic histology of the goldfinch are limited. Nevertheless, the morphological study conducted on *Serinus canaria* (canary), a member of the same family, demonstrated that the organ is bilobed (right and left lobes), that the left lobe (lobus sinister) lies ventral to the glandular stomach portion, that its visceral surface contacts the muscular stomach (ventriculus gastris), that the right lobe (lobus dexter) is comparatively larger, and that in the canary the right lobe does not contact the muscular stomach (Christov et al., 2017). It is considered that these data support the assessment that the goldfinch possesses a similar intrafamilial anatomy.

Parenchymal Organization

In the livers of songbirds, the parenchyma is enclosed by a connective tissue capsule; the capsule is thicker at the lobe margins than in other regions (Faraj & Al-Bairuty, 2017). The parenchyma is organized into hepatic lobules, which are indistinct in most birds; hepatocytes are arranged around the central vein in polygonal shape, as radial, anastomosing cords (laminae) of one or two cells in thickness (Faraj & Al-Bairuty, 2017). In the histological examination of *Sturnus vulgaris*, it was reported that the portal area contains one branch of the hepatic artery, one or more branches of the hepatic vein, and one to four bile duct branches, that the bile ducts are lined with cuboidal epithelium, and that their cytoplasm exhibits an unstained, empty appearance (Faraj & Al-Bairuty, 2017). In the white-eared bulbul (*Pycnonotus leucotis*), hepatic portal triads were found to be fewer in number than in other species (Alkhazraji, 2018).

Lü et al. reported that in the transition from Coraciiformes to Columbiformes and from there to Passeriformes, the liver-to-body weight ratio decreases, while hepatocyte diameter increases (Lü, 2011). In *Parus major* and other *Parus* species, it was stated that hepatocytes are arranged regularly and radially around the central vein and that the portal triad components (interlobular artery, vein, and bile duct) are readily recognizable (Lü, 2011).

Sinusoids and Kupffer Cells

In the songbird liver, sinusoids are generally narrow, and the grid-like (reticular) fibers in the sinusoidal wall are weakly developed. In the starling, the sinusoidal lumina are irregularly shaped and lined by two cell types: flattened endothelial cells form a layer without continuity; the von Kupffer cells (hepatic macrophages) interposed among them possess a large, basophilic nucleus and an irregular or stellate-projecting morphology, and undertake functions such as the removal of foreign/toxic material from portal blood and mediator release (Faraj & Al-Bairuty, 2017). Around the sinusoids lies a fine reticular fiber (collagen) network that supports the hepatic parenchyma and vessels (Faraj & Al-Bairuty, 2017).

Hepatocyte Morphology

Binucleation is very rare in avian hepatocytes. Electron microscopic studies have revealed that hepatocytes are characterized by densely packed, large, and numerous mitochondria; this feature is compatible with the obligatory energetic demand of high-energy activities such as flight. The Golgi complex occupies a supra- and paranuclear position. In most songbirds, the mitochondria are of coarse granular structure and also contain variable numbers of rod-shaped forms; in *Alauda arvensis*, *Motacilla cinerea*, and *Lanius bucephalus*, the chondriome consists

solely of coarse granular mitochondria. In the hepatocyte cytoplasm, glycogen granules tend to concentrate near the central vein and around the lobule ([Faraj & Al-Bairuty, 2017](#)).

Histochemical Profile

In *Sturnus vulgaris*, PAS staining demonstrated that glycogen granules concentrate near the central vein and at the lobule margins ([Faraj & Al-Bairuty, 2017](#)). In the livers of *Larus canus*, *Agapornis fischeri* and *Numida meleagris*, hepatic cells gave weakly positive reactions with PAS and alcian blue, negative reactions with bromophenol blue, and moderately positive reactions with Sudan black B ([Hamodi et al., 2013](#)).

Raptors and the Hepatic Histology of the Saker Falcon (*Falco cherrug*)

General Anatomy

The liver of raptorial birds likewise exhibits the typical avian bilateral structure; the right lobe is larger than the left lobe and is generally enclosed by a distinct connective tissue capsule (Khadhim et al., 2025). In the histomorphometric study conducted on *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris*, and *Coragyps atratus*, the liver tissue composition of all three species was reported to be similar, yet differences among the species were found in terms of nuclear area, total nuclear count, and mononuclear and binuclear cell counts. It has been suggested that these differentiations may be indicators of metabolic adaptations to different feeding habits (live or dead animals).

Scarcity of *Falco cherrug*-Specific Data

There is no direct histological study devoted to the liver histology of *Falco cherrug* in the literature. Publications concerning the saker falcon have focused rather on blood chemistry reference values (e.g., based on 30 clinically normal female individuals) and on conservation biology / longevity (a 31-year-old captive individual) (Petrov & Cholakova, 2025; Samour & D'Aloia, 1996).

Falconidae Liver Histology

In the study in which liver samples obtained from adult Falconiformes individuals were evaluated with H&E, Masson's trichrome, and PAS stains ([Jumaah, 2025](#)):

- The liver exhibits typical avian hepatic architecture, with hepatocytes arranged in hepatic cords (hepatic plates).
- Hepatocytes possess abundant cytoplasm, prominent nuclei, and widespread glycogen storage.
- A minimal connective tissue skeleton was detected on Masson's trichrome staining.
- PAS staining confirmed extensive glycogen deposits in hepatocytes.
- The researchers concluded that these histological features reflect the adaptation of the Falconiformes liver to high metabolic activity, large hepatocyte size, and widespread glycogen storage capable of meeting the energetic demands of flight/predatory behavior ([Jumaah, 2025](#)). In the Mallory trichrome images provided by Mikkola, the central vein, parenchyma (P), and portal area of the liver lobule are distinguishable from one another; at higher magnifications, the hepatocyte cords draining into the central vein and the sinusoidal capillaries become visible ([Mikkola, 2023](#)).

Hepatocyte and Cord Type in Raptor Species

The Umahara classification demonstrates that in species within the Falconiformes/Raptors order, such as *Accipiter nisus*, the hepatocyte cords are of the "hepatic cylinder" type. Haroun and Taha detected *Procyrnea leptoptera* (Nematoda: Habronematidae) in five of eight *F. tinnunculus* individuals in Egypt; the liver tissue was stained with H&E as 5 µm-thick paraffin-embedded sections. In digestive system samples obtained from 18 raptors in Italy, histopathological changes associated with parasitic and bacterial agents were detected; these

studies confirm the suitability of the Falconiformes liver for formaldehyde fixation and paraffin-embedded section preparation.

Electron Microscopic Features

In the comparative analysis of the avian liver at the EM level, it was found that hepatocytes contain densely packed, numerous large mitochondria, that the mitochondria are compatible with the high energy requirement for flight, and that the Golgi complex exhibits a supra- and paranuclear location. The perikaryal cytoplasm of the avian sinusoidal endothelium contains organelles at a level comparable to the Kupffer cell; the difference between its thin and thick portions and the fenestrated plates limited to the thin portions are few in number. The most reliable cytological distinctions between the endothelial cell and the Kupffer cell are the cell covering, pseudopodia, and mitochondria.

Ito cells (fat-storing cells, lipocytes) reside in the space of Disse; they contain numerous small lipid droplets and exhibit the essential cytological features of the mammalian liver (Ohata et al., 1982; UMAHARA, 1963). In the liver parenchyma, sporadic lymphocytes and plasma cells as well as macrophages at various differentiation stages are present; macrophages at advanced differentiation stages show ultrastructure similar to the Kupffer cell, and it has been suggested that macrophages may be the source of Kupffer cells.

Capsule and Lobular Organization

In both groups, the liver is enclosed by a connective tissue capsule; however, capsule thickness varies among species. The liver capsule of the gull (*Larus canus*) is thicker than that of the duck and the white-eared bulbul ([Alkhazraji, 2018](#)). In *Sturnus vulgaris*, the capsule is thicker at the lobe margins than in other regions ([Faraj & Al-Bairuty, 2017](#)).

In birds, the liver is generally poor in interlobular connective tissue; therefore, distinct lobule boundaries as seen in mammals are not observed, and the interlobular vein, artery, and bile duct are distributed as "Glisson sheaths". However, in some Passeriformes species such as *Parus major*, lobule boundaries are more regular and the portal triad components are more readily recognizable ([Lü, 2011](#)); it is probable that the goldfinch is close to this model. In the white-eared bulbul, on the other hand, hepatic portal triads were found to be fewer in number compared with other species ([Alkhazraji, 2018](#)). In the Falconiformes liver as well, the essential components of the portal triad consist of a branch of the hepatic artery, a branch of the portal vein, and one or more branches of the bile duct.

Hepatocyte Cord Type

According to the Umahara classification, the Fringillidae, to which the goldfinch belongs, and Passeriformes songbirds in general are characterized by the hepatic plate model: hepatocytes form plates of one or two cells in thickness and concentrate in certain regions into hepatocyte masses (Elias, 1955; UMAHARA, 1963). In contrast, members of the Falconiformes/Raptors such as *Accipiter nisus* exhibit the hepatic cylinder model; in longitudinal sections the cords consist of two rows of hepatocytes, while in transverse sections they consist of 4–5 hepatocytes arranged radially in a single row around one bile capillary (Elias, 1955; UMAHARA, 1963). This difference is compatible with Elias's functional hypothesis (thinner plates = larger hepatocyte–vessel contact surface and higher physiological efficiency); it may be debated whether the cylindrical arrangement in raptors constitutes a structural "limitation" restricting metabolic efficiency or offers a different architectural optimization for this group.

Hepatocyte Diameter and Metabolic Zonation

Lü reported that in the sequence Coraciiformes → Columbiformes → Passeriformes, the liver-to-body weight ratio decreases and hepatocyte diameter increases ([Lü, 2011](#)). Within the order

Falconiformes, it is estimated that the liver-to-body weight ratio is higher than that of the goldfinch and, correspondingly, that hepatocyte diameter may be comparatively smaller; however, this inference is not supported by a direct hepatic histomorphometry of *Falco cherrug*. The morphometric study conducted on *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris*, and *Coragyps atratus* demonstrated that in raptor species, nuclear area and cell counts show species-specific differences.

The widespread and intense glycogen storage detected by Jumaah in the Falconiformes liver is directly related to the high energy requirement imposed by flight and predatory behavior (Jumaah, 2025). In *Sturnus vulgaris*, glycogen granules concentrate near the central vein and around the lobule (Faraj & Al-Bairuty, 2017). This indicates that pericentral (zone 3) and periportal (zone 1) hepatocytes undertake different metabolic tasks. Metabolic zonation is a phenomenon very well defined in the mammalian liver and also applicable to the avian liver; microarchitectural changes in the liver (sinusoidal perfusion, width of the space of Disse) determine the regional control of carbohydrate metabolism (Berndt et al., 2018; Martini et al., 2023).

Sinusoids, Endothelium, and Kupffer Cells

In both groups, sinusoids are generally narrow and the development of reticular fibers is weak. In the starling, erythrocytes, macrophages, and endothelial and Kupffer cells are located in the sinusoidal lumina; the irregularity of the sinusoidal space and the presence of two types of lining cells (flattened endothelium + stellate Kupffer cells) have been reported (Faraj & Al-Bairuty, 2017). A similar sinusoidal organization is accepted to exist in Falconiformes as well; however, EM studies specific to raptors are needed.

Notably, the ultrastructural profile reported for the goose hepatocyte - with its abundant mitochondria and euchromatic nucleus (Çıraklı & Kuloğlu, 2024) - parallels the mitochondria-dense hepatocytic phenotype described above for Passeriformes and Falconiformes alike, supporting the view that a mitochondria-rich hepatocytic cytoarchitecture is a general avian adaptation rather than a family-level specialization.

Cellular and Mitochondrial Features

In both groups, hepatocytes are characterized, as an avian-specific trait, by densely packed, numerous large mitochondria, and this feature is compatible with the obligatory energetic demand of high-energy activities such as flight. In most songbirds, the mitochondria are of coarse granular structure and also contain variable numbers of rod-shaped forms; in *Alauda arvensis*, *Motacilla cinerea*, and *Lanius bucephalus*, the chondriome consists solely of coarse granular mitochondria. Binucleation is very rare in avian hepatocytes. The Golgi complex exhibits a supra- and paranuclear location.

Histogenesis and Developmental Perspective

There are no direct data on the hepatic histogenesis of the goldfinch and *Falco cherrug*; however, the principal events described for the *Alectoris chukar* (chukar partridge) embryo — the differentiation of dark and light hepatocytes, mitotic divisions, the formation of sinusoids and Kupffer cells, the onset of glycogen storage in hepatocytes, and developmental timing differences dependent on the incubation period — also provide a general framework for songbirds and raptors. Although the sequence of histogenetic events in the chukar partridge follows the general pattern seen in other bird species, there are interspecies differences in the timing of the formation of liver components.

Comparative Perspective from Anseriformes

A valuable external reference point for the present comparison is provided by a combined anatomical, histological and ultrastructural investigation of the Chinese goose (*Anser cygnoides*), in which the liver was described as a large, bilobed organ with a dark reddish-brown parenchyma, a well-developed connective tissue capsule, and a classical avian lobular architecture comprising hepatocyte cords, sinusoidal blood vessels, and portal areas containing the portal vein, hepatic artery and bile duct ([Çiraklı & Kuloğlu, 2024](#)). At the ultrastructural level, the goose hepatocytes were characterized by oval, euchromatic nuclei and abundant mitochondria, in keeping with the hepatocytic organelle profile reported for other avian groups ([Çiraklı & Kuloğlu, 2024](#)). The fact that this same fundamental histological plan — hepatocyte cords around a central vein, a sinusoidal network lined by endothelial cells and Kupffer cells, and a portal triad — is preserved in an Anseriformes species considerably larger than either the goldfinch or the saker falcon reinforces the interpretation, advanced throughout this review, that the muralium-based plan constitutes a shared avian blueprint, whereas species- and order-level variation manifests primarily in lobulation distinctness, capsule thickness, hepatocyte diameter, and glycogen storage capacity rather than in the basic architectural plan itself ([Çiraklı & Kuloğlu, 2024](#)).

Histotechnical Suitability and Comparative Evaluation

In the livers of the gull (*Larus canus*), *Agapornis fischeri*, and *Numida meleagris*, hepatic cells gave weakly positive reactions with PAS and alcian blue, negative reactions with bromophenol blue, and moderately positive reactions with Sudan black B ([Hamodi et al., 2013](#)). This histochemical profile indicates the presence of lipid droplets and abundant glycogen stores in the hepatocyte cytoplasm, along with a low level of mucopolysaccharide/protein accumulation. In Falconiformes, a minimal connective tissue skeleton was detected on Masson's trichrome staining ([Jumaah, 2025](#)); this finding is consistent with the general avian liver (poverty of interlobular connective tissue).

In other species such as *Streptopelia*, *Zoothera dauma*, and *Upupa epops*, lobule boundaries have been reported to be indistinct and the portal area to be either present in small amounts or not discernible at all ([Lü, 2011](#)). This diversity demonstrates that even within Passeriformes, lobular organization can vary by species. It is probable that the goldfinch is positioned somewhere between the widespread hepatic plate model and a more regular portal triad pattern.

4. CONCLUSION

This review has evaluated the known literature on the hepatic histology of two bird species with distinct life strategies — the goldfinch (*Carduelis carduelis*) and the saker falcon (*Falco cherrug*) — through a comparative approach. Owing to the absence of direct histological publications for the goldfinch, a histological profile was anticipated based on observations obtained from similar family members, characterized by thin hepatic plates arranged radially around the central vein, polygonal hepatocytes, narrow sinusoids, and a weak reticular fiber network; likewise, for the saker falcon, by evaluating data obtained from Falconiformes and close Raptors members, a liver structure was expected to possess hepatocytes organized in a hepatic cylinder arrangement, intense and widespread glycogen accumulation, and a limited connective tissue skeleton. The fundamental histological difference between the two species manifests itself in the architectural organization of the hepatocyte cords: a thin plate structure with a broad surface area is anticipated in the goldfinch, whereas a more tubular, cylindrical cord organization is anticipated in the saker falcon. In both groups, the presence of numerous large mitochondria in hepatocytes constitutes a species-specific adaptation directly related to

the energy production required by flight muscle activity. The phenomenon of metabolic zonation, well defined in the mammalian liver, also applies to birds, as understood from the regional differences in glycogen distribution within the lobule. The report of an individual capable of living 31 years in captivity demonstrates the physiological resilience of the saker falcon, while also showing that histological reference data have yet to be established.

This comparative synthesis also reveals significant gaps in the existing body of knowledge: for the goldfinch, a systematic histomorphometric examination at the light microscopy level, and for the saker falcon, a detailed characterization at both the light and electron microscopy levels have not yet been performed. The quantitative evaluation of histochemical changes associated with physiological periods, such as the breeding season, migration timing, or prey availability, is also lacking in both species. In conclusion, the livers of the goldfinch and the saker falcon are characterized by a common avian basic histological plan — the muralium arrangement, polygonal hepatocytes, the sinusoidal network, Kupffer cells, and the components of the portal triad — while exhibiting distinct cellular architectural differences and metabolic adaptation patterns at the family and order levels. Considering the international conservation status of the saker falcon, the establishment of histological reference data specific to this species carries practical value for both comparative anatomy and conservation medicine, and the inferences presented in this review must be tested with histological data obtained from direct species samples.

REFERENCES

- Alkhazraji, K. I. A.. *Morpho-histological comparative study of the liver in White-eared bulbul, Mallard duck, and Gull*. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v4i1i2.56>
- Al-Seady, Y. Y.. Histological investigation of the proventriculus in the local Fringillidae (*Carduelis carduelis*). <https://doi.org/10.36346/sarjap.2025.v06i06.001>
- Barbosa, I. F. S., Magalhães, C. P., Aguiar Júnior, F. C. A. de A., Fraga, K. B., Silva, F. A. da, Costa, M. A. S. da, & Medeiros, J. P. de.. Análise histomorfométrica do fígado e pâncreas de três espécies de aves de rapina: *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris* e *Coragyps atratus* / Histomorphometric analysis of the liver and pancreas of three species of birds of prey: *Caracara plancus*, *Rupornis magnirostris* and *Coragyps atratus*. *Brazilian Journal of Development*, 7, 33628–33646. <https://doi.org/10.34117/10.34117/bjdv7n4-019>
- Berndt, N., Horger, M., Bulik, S., & Holzhütter, H.. A multiscale modelling approach to assess the impact of metabolic zonation and microperfusion on the hepatic carbohydrate metabolism. *PLoS Computational Biology*, 14. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006005>
- Christov, C., Vladova, D., Kostov, D., & Dimitrov, R.. Gross anatomy of some digestive organs of the domestic canary (*Serinus canaria*). *Trakia Journal of Sciences*, 15, 106–112. <https://doi.org/10.15547/tjs.2017.02.002>
- Çıraklı, A. B., & Kuloğlu, H. Y. (2024). Anatomical, Histological and Transmission Electron Microscopic Examination of Liver in Chinese Goose (*Anser cygnoides*). *Indian Journal of Animal Research*. <https://doi.org/10.18805/ijar.bf-1732>
- Elias, H.. Liver morphology. *Biological Reviews*, 30, 263–310. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1955.tb01210.x>
- Faraj, S. S., & Al-Bairuty, G. A.. Morphological and histological study of the liver in migratory starling bird (*Sturnus vulgaris*). *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 27, 11–16. <https://doi.org/10.23851/mjs.v27i5.161>
- Hamodi, H. M., Abed, A. A., & Taha, A. M.. Comparative anatomical, histological and histochemical study of the liver in three species of birds. <https://doi.org/10.33899/rjs.2013.78754>
- Haroun, S. H., & Taha, R. G.. First record and morphological contributions of *Procyrnea leptoptera* (Nematoda: Habronematidae) in the kestrel *Falco tinnunculus* Linnaeus (Falconiformes: Falconidae)

- from Egypt. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 83. <https://doi.org/10.1186/s41936-022-00295-6>
- Hashemnia S, Shojaei B, Razavi H. Liver histogenesis in chukar partridge (*Alectoris chukar*) embryo. *Anatomical Sciences*. 2015; 12: 129. <https://doaj.org/article/5bcd6d5dd03841f7aad30a1046cdd256>
- Hickey, J. J., & Elias, H.. The structure of the liver of birds. *The Auk*, 71, 458–462. <https://doi.org/10.2307/4081541>
- Hristov, H.. Age morphological and imaging anatomical study of the glandular part of the stomach in domestic canary bird (*Serinus canaria*). <http://hdl.handle.net/20.500.12641/12688>
- Jumaah, Y. R.. Histological study of the liver gland in falcon fowl. *Acta Entomology and Zoology*, 6, 224–229. <https://doi.org/10.33545/27080013.2025.v6.i1c.214>
- Khadhim, I. A. A., Kadhim, W. A., & Al-Murshidi, M. M. H.. A comparative anatomical and histological analysis of some Iraqi birds' liver: Review. <https://doi.org/10.29196/jubpas.v33i4.6198>
- Lazarova, I., Petrov, R., Andonova, Y., et al.. Re-introduction of the Saker Falcon (*Falco cherrug*) in Bulgaria—preliminary results from the ongoing establishment phase by 2020. *Biodiversity Data Journal*, 9, e63729. <https://doi.org/10.3897/bdj.9.e63729>
- Lü, R.. Histological comparison of several birds' liver. *Journal of Southwest China Normal University*. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-XNZK201105032.htm
- Martini, T., Naef, F., & Tchorz, J. S.. Spatiotemporal metabolic liver zonation and consequences on pathophysiology. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 18, 439–466. <https://doi.org/10.1146/annurev-pathmechdis-031521-024831>
- Mikkola, H.. *Birds—Conservation, research and ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1000275>
- Ohata, M., Tanuma, Y., & Ito, T.. Electron microscopic study on avian livers with special remarks on the fine structure of sinusoidal cells. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 58, 325–367. https://doi.org/10.2535/ofaj1936.58.4-6_325
- Petrov, R., & Cholakova, D.. Oldest known captive Saker Falcon (*Falco cherrug cherrug*) at 31 years old. *Biodiversity Data Journal*, 13, e159703. <https://doi.org/10.3897/bdj.13.e159703>
- Rossi, G., Terracciano, G., Gherardi, R., et al.. Parasites, bacteria, and associated pathological changes in the digestive system of diurnal and nocturnal raptors in central Italy. *Pathogens*, 10, 1567. <https://doi.org/10.3390/pathogens10121567>
- Samour, J. H., & D'Aloia, M.. Normal blood chemistry of the Saker falcon (*Falco cherrug*). *Avian Pathology*, 25, 175–178. <https://doi.org/10.1080/03079459608419132>
- Santos, B. V. B. de S.. *Tomografia computadorizada para avaliação hepática e óssea de espécie Caracara plancus* [Master's thesis, Universidade Federal Rural de Pernambuco]. <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8871>
- Tavares, S. S., Pinheiro, M. A., Xavier, I. M., et al.. Biometric and organs macroscopic evaluation of wildlife southern caracara (*Caracara plancus*, Miller, 1777) captured at Fortaleza Metropolitan Region, Ceará. <https://doi.org/10.5935/1981-2965.20140033>
- Umahara, Y.. Histologische Studien über die Leber von Vögeln nebst Bemerkungen der 'Fettspeicherungszellen' ('fat-storing cells'). *Archivum Histologicum Japonicum*, 23, 253–282. <https://doi.org/10.1679/aohc1950.23.253>
- Zaefarian, F., Abdollahi, M. R., Cowieson, A. J., et al.. Avian liver: The forgotten organ. *Animals*, 9, 63. <https://doi.org/10.3390/ani9020063>

YIYECEK-İÇECEK İŞLETMELERİNDE GIDA TEDARİK ZİNCİRİ VE GIDA İSRAFI İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ: NİĞDE İLİ ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Ebru KEMER

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi /Niğde Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Otel
Lokanta ve İkram Hizmetleri, Niğde
ORCID ID: 0000-0002-7620-6297

Yüksek Lisans Öğrencisi Nisa AYDEMİR

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi /Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde
ORCID ID: 0000-0001-6448-2852

ÖZET

Gıda israfı, ekonomik kayıpların yanı sıra doğal kaynakların gereksiz tüketilmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin olumsuz etkilenmesi açısından küresel ölçekte önemli bir sorun oluşturmaktadır. Yiyecek-içecek işletmelerinde ise israf; gıdanın satın alınmasından depolanmasına, üretim sürecinden tüketiciye sunulmasına kadar tedarik zincirinin farklı aşamalarında ortaya çıkabilmektedir. Bu doğrultuda, gıda israfının yalnızca tüketici davranışlarıyla değil, işletmelerin tedarik zinciri ve operasyonel yönetim süreçleriyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu araştırma, Niğde ilinde faaliyet gösteren yiyecek-içecek işletmelerinde gıda tedarik zinciri süreçleri ile gıda israfı arasındaki ilişkiyi incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmanın temel amacı; İşletmelerin tedarikçi seçimi, satın alma, teslim alma, depolama ve stok yönetimi gibi tedarik zinciri uygulamaları ile hazırlama, üretim, porsiyonlama ve servis gibi işletme içi operasyonel süreçlerinin gıda israfının oluşumunu nasıl etkilediğini işletme yöneticileri ve mutfak profesyonellerinin perspektifinden ortaya koymaktır. Ayrıca tedarikçilerle kurulan ilişkilerin, lojistik süreçlerin ve yerel tedarik ağlarının gıda israfının oluşumundaki rolünün belirlenmesi hedeflenmektedir. Çalışma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde tasarlanmış olup veri toplama aracı olarak yarı yapılandırılmış görüşme formundan yararlanılacaktır. Araştırmanın katılımcılarını, tedarik zinciri ve mutfak operasyonları hakkında doğrudan deneyime sahip yiyecek-içecek işletmesi yöneticileri, satın alma sorumluları ve şefler oluşturmaktadır. Görüşmeler yoluyla elde edilecek veriler, nitel veri analizi kapsamında içerik analizine tabi tutulacaktır. Böylece tedarik zinciri süreçlerinde yaşanan aksaklıkların ve işletmelerin operasyonel kararlarının gıda israfı üzerindeki etkisi belirlenerek, israfın azaltılmasına yönelik uygulanabilir çözüm önerileri geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Araştırmanın, Niğde özelinde yerel tedarik ağları ile gıda israfı arasındaki ilişkiye ilişkin literatüre katkı sağlaması ve yiyecek-içecek işletmelerinin ekonomik, çevresel ve operasyonel sürdürülebilirliklerinin geliştirilmesine yönelik bir perspektif sunması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilir Gıda Tedarik Zinciri, Gıda İsrafı, Yiyecek-İçecek İşletmeleri, Sürdürülebilir Gastronomi, Nitel Araştırma, Niğde.

**AN INVESTIGATION INTO THE RELATIONSHIP BETWEEN FOOD SUPPLY
CHAIN AND FOOD WASTE IN FOOD AND BEVERAGE ENTERPRISES: THE
CASE OF NİĞDE PROVINCE**

ABSTRACT

Food waste is a significant global problem due to its economic consequences, unnecessary consumption of natural resources, and adverse effects on environmental sustainability. In food and beverage establishments, food waste can occur at various stages of the supply chain, from purchasing and storage to production and service. Therefore, food waste should be evaluated not only in terms of consumer behavior but also in relation to the supply chain and operational management processes of businesses. This study aims to examine the relationship between food supply chain processes and food waste in food and beverage establishments operating in Niğde, Türkiye. The primary objective of the study is to determine, from the perspectives of business managers and culinary professionals, how supply chain practices such as supplier selection, purchasing, receiving, storage, and inventory management, as well as in-house operational processes such as food preparation, production, portioning, and service, affect the occurrence of food waste. In addition, the study aims to identify the role of supplier relationships, logistics processes, and local supply networks in the generation of food waste. The study is designed within a qualitative research approach, and a semi-structured interview form will be used as the data collection instrument. The participants will consist of food and beverage establishment managers, purchasing officers, and chefs who have direct experience in supply chain and kitchen operations. The data obtained through the interviews will be subjected to content analysis within the scope of qualitative data analysis. Accordingly, the study aims to identify the effects of disruptions in supply chain processes and operational decisions on food waste and to develop practical recommendations for reducing food waste. The study is expected to contribute to the literature on the relationship between local supply networks and food waste in Niğde and to provide a perspective for improving the economic, environmental, and operational sustainability of food and beverage establishments.

Keywords: Sustainable Food Supply Chain, Food Waste, Food and Beverage Establishments, Sustainable Gastronomy, Qualitative Research, Niğde.

MOSFET GÜÇ KAYIPLARININ İNCELENMESİ

Elektronik Tasarım Mühendisi Bahadır GÜVEN
ME-GE Teknik, Saray OSB Mahallesi 06980, Ankara
ORCID ID: 0000-0003-3814-1418

ÖZET

Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistörler (MOSFET'ler), gerilim kontrollü yapıları, yüksek giriş empedansları, hızlı anahtarlama kabiliyetleri ve düşük iletim dirençleri sayesinde güç elektroniğinde en yaygın kullanılan yarıiletken anahtarlama elemanları arasında yer almaktadır. Güç MOSFET'leri, düşük ve orta gerilim uygulamalarında yüksek verim ve yüksek anahtarlama frekansı sağlayabilmeleri nedeniyle tercih edilmektedir. Düşük anahtarlama süreleri ve yüksek güç yoğunluğu sayesinde anahtarlama güç kaynakları, DC-DC dönüştürücüler, AC-DC doğrultucular, DC-AC eviriciler, motor sürücüleri, elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri ve havacılık elektroniği gibi birçok güç elektroniği uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanım alanı, MOSFET'lerin çalışma karakteristiklerinin ve elektriksel davranışlarının ayrıntılı olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır. Çalışma performansını belirleyen temel parametrelerin doğru değerlendirilmesi, güç elektroniği sistemlerinin verimli, güvenilir ve sürdürülebilir şekilde tasarlanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, çalışma koşullarına bağlı olarak MOSFET bünyesinde oluşan çeşitli güç kayıpları sistem verimliliğini azaltmakta, yarı iletken birleşim sıcaklığını artırmakta ve termal performansı olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle MOSFET güç kayıplarının doğru modellenmesi ve analiz edilmesi, yüksek verimli, güvenilir ve uzun ömürlü güç elektroniği sistemlerinin tasarımında kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada MOSFET'lerde meydana gelen iletim kaybı, anahtarlama kaybı, kapı sürme kaybı ve benzeri güç kaybı mekanizmaları incelenmiş, bu kayıpların MOSFET performansı ve güç elektroniği uygulamaları üzerindeki etkileri literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlendirmelerin, bu alanda gerçekleştirilecek gelecekteki çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yarı İletken, MOSFET, Güç Elektroniği

AN INVESTIGATION OF MOSFET POWER LOSSES

ABSTRACT

Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors (MOSFETs) are among the most widely used semiconductor switching devices in power electronics, owing to their voltage-controlled structure, high input impedance, fast switching capability, and low conduction resistance. Power MOSFETs are preferred in low- and medium-voltage applications because they can provide high efficiency and high switching frequency. Thanks to their short switching times and high-power density, they are widely used in many power electronics applications such as switched-mode power supplies, DC-DC converters, AC-DC rectifiers, DC-AC inverters, motor drives, electric vehicles, renewable energy systems, and aerospace electronics. This widespread use makes it necessary to examine the operating characteristics and electrical behavior of MOSFETs in detail. Accurate evaluation of the fundamental parameters that determine operating performance is of great importance for the efficient, reliable, and sustainable design of power electronics systems. However, depending on operating conditions, various power

losses that occur within the MOSFET reduce system efficiency, increase the semiconductor junction temperature, and adversely affect thermal performance. Therefore, accurate modeling and analysis of MOSFET power losses is of critical importance for the design of highly efficient, reliable, and long-lasting power electronics systems. In this study, power loss mechanisms occurring in MOSFETs—such as conduction loss, switching loss, gate drive loss, and similar losses—have been examined, and the effects of these losses on MOSFET performance and power electronics applications have been evaluated in line with studies available in literature. The evaluations obtained are intended to contribute to future studies to be carried out in this field.

Keywords: Semiconductor, MOSFET, Power Electronics

NOBUSAWA GAMMA YAKINLIK HALKALARIN ASAL Γ -YAKINLIK İDEALLERİ

Doç.Dr. Mehmet Ali ÖZTÜRK

Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, Adıyaman University, 02040,
Adıyaman, Turkey

ORCID: 0000-0002-1721-1053

Ali YÜKSEK

Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, Adıyaman University, 02040,
Adıyaman, Turkey

ORCID: 0000-0002-8436-974X

ÖZET

Küme teorisi, özellikle mühendisler ve matematikçiler için çok önemli bir araçtır. Çalışmalarında küme teorisini temel alırlar. Araştırmacılar, sıradan küme teorisinin yetersiz kaldığı durumlarda yeni yaklaşımlar tanımlamışlardır. Çünkü gerçek dünya belirsiz, kesin olmayan ve mutlaklıdır. Bu yaklaşımlardan biri de kaba küme teorisidir. Kaba küme teorisinin odaklandığı belirsizlik, karar özelliklerinde farklı değerlere sahip ayırt edilemez unsurlara dayanmaktadır. Bu nedenle, kaba küme teorisinin bir genellemesi olan yakın küme teorisi ortaya atılmıştır. Bu teori, nesnelerin mevcut bilgilerine göre evrensel kümelerin belirlenmesine dayanmaktadır. Yakın küme teorisi, farklı nesnelerin algılanan özellikleri arasındaki benzerlikleri belirlemek ve ayırt etmek için bir araçtır. Fiziksel nesnelerin bir özelliği, gerçek değerli bir örtüşme fonksiyonu ile temsil edilir. Cebirsel yapılardaki elemanları somut elemanlara dönüştürmek için yakın küme teorisini kullanabiliriz. Bildiğimiz kadarıyla cebirsel yapılar boş olmayan soyut noktalardan oluşur. Ancak bu, günlük hayatta karşılaşılan problemler için kullanışlı değildir. Cebirsel yapıları inceleyen tüm araştırmacılar soyut elemanları dikkate alır. Ancak bunları çalışmalarımızda kullanmak bazen yetersiz kalmaktadır. Yakın küme teorisinde algısal nesneleri (soyut olmayan noktalar) kullanırız. Algısal nesnelerin, bir elmanın rengi, olgunlaşma derecesi gibi bazı özellikleri vardır. Zayıf yakınlık yaklaşım uzaylarında tanımlanan cebirsel yapılarda, ana araç algısal nesnelerin alt kümelerinin üst yaklaşımlarıdır. Yakınlık yaklaşımı, cebirsel yapılardaki soyut olmayan noktalarla incelenir ve ikili işlemlerin yakınlığı için algısal nesnelerin üst yaklaşımları dikkate alınır. Γ -halkaları kavramı, halka ve modül teorilerini birbirine bağlayan bir çerçeve sağlarken, yakınlık teorisi de yaklaşık modelleme için bir temel sunar. Bu yaklaşımları birleştirerek, yakınlık halkaları ve Γ -yakınlık halkaları da dahil olmak üzere zayıf yakınlık yaklaşık uzaylarında çeşitli cebirsel yapılar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Nobusawa Gamma yakınlık halkasının asal idealleri tanımlanmış ve çeşitli özellikleri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yakınlık yaklaşımlı uzay, Zayıf yakınlık yaklaşımlı uzay, Nobusawa Gamma yakınlık halkalar, Asal yakınlık idealler, Asal gamma yakınlık idealler

PRIME Γ -NEARNESS IDEALS OF NOBUSAWA GAMMA NEARNESS RINGS

ABSTRACT

Set theory is a very important tool especially for engineers and mathematicians. They use set theory as a base in their studies. Researchers defined new approaches when ordinary set theory is insufficient. Because the real world is uncertain, imprecise and absolute. One of these

approaches is rough set theory. The uncertainty that rough set theory focuses on is based on indistinguishable elements that have different values in decision characteristics. Therefore, near set theory, which is a generalization of rough set theory, was introduced. This theory is based on the determination of universal sets according to the available information of the objects. Near set theory is a tool for identifying and distinguishing similarities between perceived properties of different objects. The property of physical objects is represented by a real-valued probe function. The indiscernibility based on the properties of the objects is given to describe the proximity (or nearness) of objects. In more recent work, it has been adopted as a generalized approximation theory for investigating the proximity (or nearness) of similar non-empty sets. We may be used near set theory to turn elements in algebraic structures into concrete elements. Algebraic structures as we know them consist of non-empty abstract points. But this is not useful for the problems faced in daily life. All researchers who study algebraic structures consider abstract elements. But using them in our studies sometimes is insufficient. We use perceptual objects (non-abstract points) in near set theory. Perceptual objects have some features such as color, degree of maturation for an apple. In algebraic structures defined on weak nearness approximation spaces, the main tool is upper approximations of subsets of perceptual objects. Nearness approach is studied with non-abstract points in algebraic structures, and upper approximations of perceptual objects are considered for the nearness of binary operations. The concept of Γ -rings provides a framework connecting ring and module theories, while nearness theory offers a foundation for modeling approximation. Combining these approaches, various algebraic structures on weak nearness approximation spaces, including nearness rings and Γ -nearness rings, have been developed. In this paper, the prime Γ -nearness ideals of the Nobusawa Γ -nearness ring are introduced and its various characteristics are discussed.

Keywords: Nearness approximation spaces, Weak nearness approximation spaces, Nobusawa gamma nearness rings, Prime nearness ideals, Prime gamma nearness ideals.

BÖLÜMLÜ NOBUSAWA GAMMA YAKINLIK HALKALARI**Doç.Dr. Mehmet Ali ÖZTÜRK**Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, Adıyaman University, 02040,
Adıyaman, Turkey**ORCID:** 0000-0002-1721-1053**Ali YÜKSEK**Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, Adıyaman University, 02040,
Adıyaman, Turkey**ORCID:** 0000-0002-8436-974X**ÖZET**

Küme teorisi, özellikle mühendisler ve matematikçiler için çok önemli bir araçtır. Çalışmalarında küme teorisini temel alırlar. Araştırmacılar, sıradan küme teorisinin yetersiz kaldığı durumlarda yeni yaklaşımlar tanımlamışlardır. Çünkü gerçek dünya belirsiz, kesin olmayan ve mutlaklıdır. Bu yaklaşımlardan biri de kaba küme teorisidir. Kaba küme teorisinin odaklandığı belirsizlik, karar özelliklerinde farklı değerlere sahip ayırt edilemez unsurlara dayanmaktadır. Bu nedenle, kaba küme teorisinin bir genellemesi olan yakın küme teorisi ortaya atılmıştır. Bu teori, nesnelerin mevcut bilgilerine göre evrensel kümelerin belirlenmesine dayanmaktadır. Yakın küme teorisi, farklı nesnelerin algılanan özellikleri arasındaki benzerlikleri belirlemek ve ayırt etmek için bir araçtır. Fiziksel nesnelerin bir özelliği, gerçek değerli bir örtüşme fonksiyonu ile temsil edilir. Cebirsel yapılardaki elemanları somut elemanlara dönüştürmek için yakın küme teorisini kullanabiliriz. Bildiğimiz kadarıyla cebirsel yapılar boş olmayan soyut noktalardan oluşur. Ancak bu, günlük hayatta karşılaşılan problemler için kullanışlı değildir. Cebirsel yapıları inceleyen tüm araştırmacılar soyut elemanları dikkate alır. Ancak bunları çalışmalarımızda kullanmak bazen yetersiz kalmaktadır. Yakın küme teorisinde algısal nesneleri (soyut olmayan noktalar) kullanırız. Algısal nesnelerin, bir elmanın rengi, olgunlaşma derecesi gibi bazı özellikleri vardır. Zayıf yakınlık yaklaşım uzaylarında tanımlanan cebirsel yapılarda, ana araç algısal nesnelerin alt kümelerinin üst yaklaşımlarıdır. Yakınlık yaklaşımı, cebirsel yapılardaki soyut olmayan noktalarla incelenir ve ikili işlemlerin yakınlığı için algısal nesnelerin üst yaklaşımları dikkate alınır. Γ -halkaları kavramı, halka ve modül teorilerini birbirine bağlayan bir çerçeve sağlarken, yakınlık teorisi de yaklaşık modelleme için bir temel sunar. Bu yaklaşımları birleştirerek, yakınlık halkaları ve Γ -yakınlık halkaları da dahil olmak üzere zayıf yakınlık yaklaşık uzaylarında çeşitli cebirsel yapılar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, bölümlü yakınlık halkaları kavramını Nobusawa anlamında genişleten bölüm Nobusawa Γ -yakınlık halkasını tanımlıp incelenmiştir. Temel cebirsel özellikler, özellikle ideallerle ilgili olanlar, incelenmektedir. Sonuçlar, genelleştirilmiş halka teorisinin yakınlık tabanlı cebirsel sistemlerle bütünleştirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yakınlık yaklaşımlı uzay, Zayıf yakınlık yaklaşımlı uzay, Nobusawa gamma yakınlık halkalar, Bölümlü yakınlık halkalar, Bölümlü gamma yakınlık halkalar

QUOTIENT NOBUSAWA GAMMA NEARNESS RINGS

ABSTRACT

Set theory is a very important tool especially for engineers and mathematicians. They use set theory as a base in their studies. Researchers defined new approaches when ordinary set theory is insufficient. Because the real world is uncertain, imprecise and absolute. One of these approaches is rough set theory. The uncertainty that rough set theory focuses on is based on indistinguishable elements that have different values in decision characteristics. Therefore, near set theory, which is a generalization of rough set theory, was introduced. This theory is based on the determination of universal sets according to the available information of the objects. Near set theory is a tool for identifying and distinguishing similarities between perceived properties of different objects. The property of physical objects is represented by a real-valued probe function. The indiscernibility based on the properties of the objects is given to describe the proximity (or nearness) of objects. In more recent work, it has been adopted as a generalized approximation theory for investigating the proximity (or nearness) of similar non-empty sets. We may be used near set theory to turn elements in algebraic structures into concrete elements. Algebraic structures as we know them consist of non-empty abstract points. But this is not useful for the problems faced in daily life. All researchers who study algebraic structures consider abstract elements. But using them in our studies sometimes is insufficient. We use perceptual objects (non-abstract points) in near set theory. Perceptual objects have some features such as color, degree of maturation for an apple. In algebraic structures defined on weak nearness approximation spaces, the main tool is upper approximations of subsets of perceptual objects. Nearness approach is studied with non-abstract points in algebraic structures, and upper approximations of perceptual objects are considered for the nearness of binary operations. The concept of Γ -rings provides a framework connecting ring and module theories, while nearness theory offers a foundation for modeling approximation. Combining these approaches, various algebraic structures on weak nearness approximation spaces, including nearness rings and Γ -nearness rings, have been developed. In this paper, we introduce and investigate the quotient Nobusawa Γ -nearness ring, extending the notion of quotient nearness rings to Nobusawa-sense. Fundamental algebraic properties, particularly those related to ideals, are examined. The results aim to contribute to the integration of generalized ring theory with nearness-based algebraic systems.

Keywords: Nearness approximation spaces, Weak nearness approximation spaces, Nobusawa gamma nearness rings, Quotient nearness rings, Quotient gamma nearness rings.

VERGİ DENETİMİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Yüksek Lisans Öğrencisi İsmail Server HAYDAROĞLU

Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, ORCID ID: 0009-0003-0295-9370

Dr. Öğr. Üyesi Zehra ÇUBUKCU

Selçuk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,

ORCID ID: 0000-0001-8578-8615

Özet

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, idarelerin toplumun değişen ihtiyaçlarına göre yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir. Bu süreçte yapay zekâ, artık yalnızca teknik bir araç değil; kamu örgütlenmesini, karar alma süreçlerini ve kamu hizmeti sunumunu etkileyen önemli bir dönüşüm unsuru hâline gelmiştir. Kamu hizmetlerinin etkin biçimde yerine getirilebilmesi, kamu gelirlerinin güvence altına alınmasına, vergi uyumunun yükseltilmesine ve vergi adaletinin gözetilmesine sıkı sıkıya bağlıdır. Buna karşılık gün geçtikçe büyüyen ve çeşitlenen veri hacminin sınırlı idari kaynaklarla değerlendirilebilmesi, vergi denetiminde dijital teknolojilere ve yapay zekâ destekli analiz yöntemlerine başvurulmasını zorunlu kılmaktadır. Türkiye’de vergi denetiminde dijital dönüşüm, gelişen teknolojik ve ekonomik koşullara paralel olarak Gelir İdaresi Başkanlığı ve Vergi Denetim Kurulu bünyesinde geliştirilen risk analizi sistemleri, e-Fatura, e-Defter, e-Arşiv ve e-İrsaliye gibi elektronik uygulamalar ile yapay zekâ destekli algoritmik analizler aracılığıyla ilerlemektedir. VDK-RAS, KURGAN ve diğer dijital denetim uygulamaları bu dönüşümün somut örneklerini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de vergi denetiminde yapay zekâ kullanımının gelişim sürecini, mevcut uygulamalarını ve denetim süreçleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Nitel araştırma yöntemlerinden literatür analizi kullanılan çalışmada; stratejik planlar, faaliyet raporları, resmî kurum web siteleri ve akademik çalışmalar incelenmiştir. Elde edilen bulgular, Türkiye’de vergi denetiminde dijital dönüşümün elektronik belge ve otomasyon uygulamalarından, büyük veri temelli risk analizlerine ve yapay zekâ destekli karar destek sistemlerine doğru evrildiğini ortaya koymaktadır. Bu dönüşümün denetim kapasitesini ve risklerin daha erken tespit edilmesine yönelik imkânları güçlendirdiği; ancak yapay zekâ uygulamalarının etkinliğinin yanı sıra şeffaflık, açıklanabilirlik, veri güvenliği ve hukuki güvencelerin de gözetilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda çalışma, Türkiye’de vergi denetiminde yapay zekâ kullanımının insan merkezli, hesap verebilir ve hukukun üstünlüğü ilkesiyle uyumlu biçimde geliştirilmesine yönelik öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Vergi Denetimi, Dijital Dönüşüm, Vergi İdaresi

DIGITAL TRANSFORMATION IN TAX AUDITING

Abstract

Rapid advances in information and communication technologies require administrations to reorganize themselves in line with society's changing needs. In this process, artificial intelligence has become not merely a technical tool but a significant driver of transformation affecting public organization, decision-making processes, and the manner in which public services are delivered. The effective delivery of public services is closely tied to securing public revenues, improving tax compliance, and ensuring tax justice. At the same time, the growing and increasingly diverse volume of data, which must be processed with limited administrative resources, makes it imperative to draw on digital technologies and artificial intelligence based

analytical methods in tax auditing. In Türkiye, digital transformation in tax auditing is advancing in line with evolving technological and economic conditions through risk analysis systems developed within the Revenue Administration and the Tax Inspection Board, electronic applications such as e-Invoice, e-Ledger, e-Archive, and e-Waybill, and artificial intelligence-supported algorithmic analyses. VDK-RAS, KURGAN, and other digital auditing applications constitute concrete examples of this transformation. The purpose of this study is to reveal the development process, current applications, and effects on auditing procedures of artificial intelligence use in tax auditing in Türkiye. The study employs the literature review method, one of the qualitative research methods, examining strategic plans, activity reports, official institutional websites, and academic studies. The findings reveal that digital transformation in tax auditing in Türkiye has evolved from electronic documentation and automation applications toward big data-based risk analyses and, subsequently, artificial intelligence supported decision support systems. This transformation is found to strengthen auditing capacity and enable the earlier detection of risks; however, it is assessed that alongside the effectiveness of artificial intelligence applications, transparency, explainability, data security, and legal safeguards must also be given due consideration. Accordingly, the study offers recommendations for developing the use of artificial intelligence in tax auditing in Türkiye in a manner that is human-centered, accountable, and consistent with the principle of the rule of law.

Keywords: Artificial Intelligence, Tax Auditing, Digital Transformation, Tax Administration

DEEFAKE ÇAĞINDA HABER-İ SÂDİKIN İMKÂNI: KELÂM EPİSTEMOLOJİSİNİN DİJİTAL BİLGİ SORUNLARI AÇISINDAN YENİDEN OKUNMASI

Öğr. Gör. Dr. Enes ER

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Divinity, Department of Basic Islamic Sciences,
55200 Atakum, Samsun

ORCID ID: 0000-0001-8845-2922

ÖZET

Dijital iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, bilgiye ulaşma ve bilgiyi aktarma biçimlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Yapay zekâ temelli üretim araçları bu dönüşümü daha da hızlandırmıştır. Deepfake teknolojileri bu sürecin dikkat çekici örneklerinden biridir. Bu teknolojiler sayesinde gerçekte meydana gelmemiş bir olayın görüntüsü, sesi veya videosu gerçeğe oldukça yakın biçimde üretilebilmektedir. Bir kişinin söylemediği bir söz söylenmiş gibi gösterilebilmekte, gerçekleşmemiş bir olay gerçekleşmiş izlenimi verebilmektedir. Bu durum dijital ortamda dolaşıma giren haberlerin güvenilirliği konusunda ciddi sorunlar doğurmaktadır. Görülen veya işitilen bir içeriğin gerçekliği artık tek başına duyuşal izlenim üzerinden kabul edilememektedir. Bu çalışma, deepfake teknolojilerinin ortaya çıkardığı söz konusu problemi klasik kelâm epistemolojisinin haber anlayışı çerçevesinde ele almaktadır. Çalışmanın merkezinde haber-i sâdik kavramı bulunmaktadır. Kelâm düşüncesinde haber, insan bilgisinin temel kaynaklarından biri olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte her haberin bilgi meydana getirdiği düşünülmemiştir. Haberin doğruluğu, güvenilirliği ve bilgi değeri üzerinde ayrıca durulmuştur. Özellikle mütevâtir haber, kesin bilgi ile haber arasındaki ilişkinin açıklanmasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışma, klasik kelâmın haber konusundaki kavramsal birikiminin günümüz dijital bilgi problemlerinin değerlendirilmesinde ne ölçüde kullanılabileceğini araştırmayı amaçlamaktadır. Araştırmada literatür taraması ve kavramsal analiz yöntemlerinden yararlanılacaktır. Klasik kelâm kaynaklarında yer alan haber, bilgi, doğruluk, zan ve tevatür kavramları incelenecektir. Ardından bu kavramlar deepfake ve dijital dezenformasyonun ortaya çıkardığı epistemolojik sorunlarla ilişkilendirilecektir. Çalışmada özellikle bir içeriğin çok sayıda kişi tarafından paylaşılması ile farklı ve bağımsız kaynaklardan doğrulanması arasındaki ayrım üzerinde durulacaktır. Çünkü dijital ortamda aynı haber kısa sürede binlerce kez paylaşılabilir. Ancak paylaşım sayısının artması, haberin kaynağını çoğaltmamaktadır. Bu nedenle dijital yaygınlık ile kelâm epistemolojisindeki tevatürün birbirinden ayrılması gerekmektedir. Çalışmanın temel iddiası, deepfake teknolojilerinin haberin bir bilgi kaynağı olma imkânını ortadan kaldırmadığıdır. Buna karşılık bu teknolojiler, güvenilir haberin hangi şartlarda mümkün olduğu sorusunu daha önemli hâle getirmiştir. Kaynağın belirlenmesi, aktarım sürecinin incelenmesi, bağımsız kaynaklardan teyit alınması ve haberin aklî değerlendirmeye tâbi tutulması bu süreçte önem kazanmaktadır. Bu çerçevede klasik kelâm epistemolojisinin haber anlayışının dijital çağın bilgi krizine doğrudan teknik bir çözüm sunmadığı kabul edilmektedir. Buna rağmen söz konusu gelenek, güvenilir bilginin şartlarını tartışmak için güçlü bir kavramsal çerçeve sağlamaktadır. Çalışma, haber-i sâdik ve tevatür kavramlarının güncel bilgi sorunları ışığında yeniden düşünülmesinin kelâm ilminin çağdaş epistemolojik tartışmalara katkısını görünür kılabilceğini savunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kelâm, epistemoloji, haber-i sâdik, deepfake, dijital dezenformasyon

THE POSSIBILITY OF TRUTHFUL REPORT IN THE AGE OF DEEPPFAKES: RECONSIDERING KALĀM EPISTEMOLOGY IN RELATION TO DIGITAL INFORMATION PROBLEMS

ABSTRACT

Rapid developments in digital communication technologies have significantly changed the ways in which information is accessed and transmitted. Artificial intelligence-based content generation tools have further accelerated this transformation. Deepfake technologies are among the most notable examples of this process. These technologies make it possible to produce images, audio recordings, and videos of events that never actually occurred in ways that closely resemble reality. A person can be portrayed as having said something they never said, or an event that never took place can be presented as if it had actually happened. This situation raises serious concerns about the reliability of information circulating in digital environments. The authenticity of visual or auditory content can no longer be established solely on the basis of what is seen or heard. This study examines the problems caused by deepfake technologies within the framework of the classical kalām understanding of report. The concept of khabar al-sādiq (truthful report) lies at the center of the study. In kalām thought, report has been regarded as one of the fundamental sources of human knowledge. However, not every report has been considered capable of producing knowledge. Particular attention has therefore been given to the truthfulness, reliability, and epistemic value of reports. In this context, mutawātir report occupies an important place in explaining the relationship between report and certain knowledge. This study aims to investigate the extent to which the conceptual framework developed in classical kalām regarding reports can be employed in evaluating contemporary problems of digital information. The study will employ literature review and conceptual analysis. Concepts such as report, knowledge, truthfulness, conjecture, and tawātur in classical kalām sources will first be examined. These concepts will then be related to the epistemological problems created by deepfakes and digital disinformation. Particular attention will be paid to the distinction between the widespread sharing of a piece of content and its verification through different and independent sources. In digital environments, the same report can be shared thousands of times within a very short period. However, an increase in the number of shares does not necessarily increase the number of independent sources. For this reason, digital virality should be distinguished from tawātur as understood in kalām epistemology. The main argument of this study is that deepfake technologies do not eliminate the possibility of report as a source of knowledge. Rather, they make the question of the conditions under which reliable reports can produce knowledge more pressing. Identifying the source, examining the process of transmission, obtaining confirmation from independent sources, and subjecting reports to rational evaluation have therefore become increasingly important. Within this framework, the study acknowledges that the classical kalām theory of report does not offer a direct technical solution to the information crisis of the digital age. Nevertheless, it provides a strong conceptual framework for discussing the conditions of reliable knowledge. The study argues that reconsidering the concepts of khabar al-sādiq and tawātur in the light of contemporary information problems can make the contribution of kalām to current epistemological debates more visible.

Keywords: Kalām, epistemology, truthful report (khabar al-sādiq), deepfake, digital disinformation

VALUES EDUCATION IN MUHAMMAD YUSUF KANDEHLAWI'S HAYAT AL-SAHABA

Sümeysra MAKAL

Bülent Ecevit Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Sosyal Bilimler, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: [0009-0004-6070-1543]

Lecturer

Bülent Ecevit Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Sosyal Bilimler, Zonguldak, Türkiye
ORCID ID: [0009-0004-6070-1543]

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Values education aims to help individuals acquire moral principles and transform them into lasting attitudes and behaviours. Narratives from the life of the Prophet Muhammad and his Companions offer concrete examples that can support this process. Muhammad Yusuf Kandehlawi's Hayat al-Sahaba brings together many such narratives and presents the Companions' understanding of faith, worship and morality through lived events. This study aims to identify how the values of patience, charitable giving, justice, compassion and mercy, love of knowledge, hospitality and gratitude are addressed in Hayat al-Sahaba and to evaluate the work's potential contribution to contemporary values education.

Materials and Methods: The study was designed as qualitative document analysis. Hayat al-Sahaba constituted the main data source. Narratives directly related to the seven selected values were identified through purposive selection, classified according to their dominant value, and examined by content analysis. During the analysis, a distinction was maintained between the content of the transmitted reports and Kandehlawi's manner of selecting, arranging and presenting them. Similar narratives were considered together in order to avoid repetition, while the historical and religious context of each value was preserved.

Results: The findings show that the selected values are conveyed mainly through concrete behaviour rather than abstract definitions. Patience is associated with endurance in the face of illness, loss and hardship; charitable giving with self-sacrifice and sharing; justice with equality before the law and sensitivity regarding public property; compassion and mercy with care for people, animals and parents; love of knowledge with learning, teaching and travelling in search of knowledge; hospitality with giving priority to the guest; and gratitude with worship and awareness of blessings. Discussion and Conclusion: Kandehlawi presents the Companions as practical moral role models and reinforces the values through memorable narratives. Although the work reflects its own religious and historical context, the analysed examples can be used in contemporary values education when supported by age-appropriate explanation, critical evaluation and connections with daily life. The study concludes that Hayat al-Sahaba is a rich supplementary source for teaching values through exemplary lives and narrative-based learning.

Key Words: Hayat al-Sahaba; Muhammad Yusuf Kandehlawi; Values Education; Companions; Moral Education

MUHAMMED YUSUF KANDEHLEVÎ'NİN HAYÂTÜ'S-SAHÂBE ADLI ESERİNDE DEĞERLER EĞİTİMİ

ÖZET

Giriş ve Amaç: Değerler eğitimi, bireyin ahlaki ilkeleri tanımasını ve bunları kalıcı tutum ve davranışlara dönüştürmesini amaçlamaktadır. Hz. Peygamber ve sahâbenin hayatından aktarılan rivayetler, bu süreçte kullanılabilecek somut örnekler sunmaktadır. Muhammed Yusuf Kandehlevî'nin Hayâtü's-Sahâbe adlı eseri de sahâbenin inanç, ibadet ve ahlak anlayışını yaşanmış olaylar üzerinden aktaran geniş bir rivayet birikimine sahiptir. Bu araştırmanın amacı; eserde sabır, infak, adalet, şefkat ve merhamet, ilim sevgisi, misafire ikram ve şükür değerlerinin nasıl ele alındığını belirlemek ve eserin günümüz değerler eğitimine sağlayabileceği katkıyı değerlendirmektir.

Materyaller ve Yöntemler: Araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesiyle yürütülmüştür. Çalışmanın temel veri kaynağını Hayâtü's-Sahâbe oluşturmuştur. Belirlenen yedi değerle doğrudan ilişkili rivayetler amaçlı seçim yoluyla tespit edilmiş, baskın değerlerine göre sınıflandırılmış ve içerik analiziyle incelenmiştir. İnceleme sırasında rivayetlerde aktarılan bilgiler ile Kandehlevî'nin bu rivayetleri seçme, sıralama ve sunma biçimi birbirinden ayrılarak değerlendirilmiştir. Tekrarı önlemek amacıyla benzer olaylar birlikte ele alınmış; değerlerin tarihî ve dinî bağlamı korunmuştur.

Bulgular: İncelenen değerlerin eserde soyut tanımlardan çok somut davranış örnekleriyle aktarıldığı belirlenmiştir. Sabır; hastalık, kayıp ve sıkıntılar karşısında dayanma, infak; fedakârlık ve paylaşma, adalet; kanun önünde eşitlik ve kamu malına duyarlılık, şefkat ve merhamet; insana, hayvana ve anne babaya özen gösterme, ilim sevgisi; öğrenme, öğretme ve bilgi uğruna yolculuk yapma, misafire ikram; konuğu kendine tercih etme, şükür ise nimetlerin farkında olma ve ibadetle karşılık verme davranışlarıyla işlenmiştir. Tartışma ve Sonuç: Kandehlevî'nin sahâbeyi uygulamalı ahlak örnekleri olarak sunduğu ve değerleri akılda kalıcı rivayetlerle güçlendirdiği görülmüştür. Eser, kendi tarihî ve dinî bağlamını yansıtmakla birlikte, incelenen örnekler yaş düzeyine uygun açıklamalarla, eleştirel değerlendirmeye ve günlük hayatla ilişkilendirilerek günümüz değerler eğitiminde kullanılabilir. Sonuç olarak Hayâtü's-Sahâbe, örnek şahsiyetler ve olay temelli anlatım yoluyla değer öğretimini destekleyebilecek zengin bir yardımcı kaynak niteliğindedir.

Anahtar Sözcükler: Hayâtü's-Sahâbe; Muhammed Yusuf Kandehlevî; Değerler Eğitimi; Sahâbe; Ahlak Eğitimi

BORSA İSTANBUL’DA LİKİDİTE BAĞIMLILIĞININ KARŞILIKLI BİLGİYE DAYALI AĞ YAPISI

Dr. Öğr. Üyesi Serkan ALKAN

Department of Finance and Banking, Faculty of Applied Sciences, Tarsus University, Mersin,
Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-7773-7321

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Borsa İstanbul’da işlem gören şirketlerin likiditeleri arasındaki bağımlılık yapısını karşılıklı bilgi ve ağ analizi çerçevesinde incelemektir. Araştırmada, 2 Ocak 2020–30 Haziran 2026 döneminde 323 şirkete ait 1.621 işlem gününden oluşan dengeli bir veri kümesi kullanılmıştır. Şirketlerin günlük likidite düzeyleri, mutlak getirinin işlem hacmine oranına dayanan Amihud likidite yetersizliği ölçütüyle hesaplanmıştır. Şirketler arasındaki bağımlılıklar, doğrusal ilişkilerin yanı sıra doğrusal olmayan ilişkileri de belirleyebilen normalleştirilmiş karşılıklı bilgi ölçütü kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen karşılıklı bilgi değerleri uzaklık ölçüsüne dönüştürülmüş ve şirketler arasındaki en güçlü likidite bağlantılarını daha sade bir yapıda göstermek amacıyla minimum kapsayan ağaç oluşturulmuştur. Ağ yapısı; derece, arasındalık ve yakınlık merkezilikleri, derece benzeşmesi, sektör ve alt sektör benzeşmesi ile topluluk yapısı bakımından incelenmiştir. Kenar arasındalığı yöntemiyle belirlenen topluluklar, şirketlerin Kamuoyu Aydınlatma Platformu’nda (KAP) yer alan sektör ve alt sektör sınıflandırmalarıyla karşılaştırılmıştır. Bulgular, Borsa İstanbul likidite ağında az sayıdaki merkezî şirketin ağı farklı bölümleri arasında bağlantı kurduğu belirgin bir merkez-çevre yapısının bulunduğunu göstermektedir. Derece benzeşmesinin negatif olması, bağlantı sayısı yüksek şirketlerin daha az bağlantılı şirketlerle ilişki kurma eğiliminde olduğuna işaret etmektedir. Sektör ve alt sektör benzeşmesi pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olmakla birlikte düşük düzeydedir. Ağdan elde edilen topluluklar ile KAP sektör sınıflandırması arasındaki örtüşmenin zayıf olduğu ve toplulukların likidite düzeyleri arasında anlamlı farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, şirketler arasındaki likidite bağımlılığının yalnızca sektörel özelliklerle açıklanamayacağını; piyasa genelindeki yatırımcı davranışlarının, ortak alım-satım hareketlerinin ve fonlama koşullarının sektör sınırlarını aşan bağlantılar oluşturabileceğini göstermektedir. Karşılıklı bilgi ölçütü ilişkinin yönünü belirlemediğinden bulgular, nedensel likidite yayılımı olarak değil, eş zamanlı likidite bağımlılığı olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar kelimeler: Likidite bağımlılığı, Amihud likidite yetersizliği, karşılıklı bilgi, minimum kapsayan ağaç, topluluk analizi

THE MUTUAL INFORMATION-BASED NETWORK STRUCTURE OF LIQUIDITY DEPENDENCE IN BORSA ISTANBUL

ABSTRACT

This study examines the dependence structure among the liquidity levels of firms traded on Borsa Istanbul through mutual information and network analysis. It uses a balanced dataset of 323 firms and 1,621 trading days covering 2 January 2020 to 30 June 2026. Daily liquidity is measured by the Amihud illiquidity measure, defined as absolute return relative to monetary trading volume. Pairwise dependencies are calculated using normalized mutual information, which captures both linear and nonlinear relationships. The resulting mutual information values

are converted into distances, and a minimum spanning tree is constructed to represent the strongest liquidity connections in a parsimonious network. The network is evaluated using degree, betweenness, and closeness centralities; degree, sector, and subsector assortativity; and community structure. Communities detected through the edge-betweenness method are compared with the sector and subsector classifications available on Türkiye's Public Disclosure Platform (KAP). The findings reveal a pronounced core-periphery structure in which a limited number of central firms connect different parts of the network. Negative degree assortativity indicates that highly connected firms tend to link with firms having fewer connections. Sector and subsector assortativity are positive and statistically significant but weak. The correspondence between network communities and KAP classifications is also limited, while the detected communities differ significantly in their liquidity levels. These results suggest that liquidity dependence cannot be explained solely by sector-specific characteristics. Market-wide investor behavior, common trading activity, and funding conditions may create connections that extend beyond sectoral boundaries. Because mutual information is symmetric and does not identify direction, the findings represent contemporaneous liquidity dependence rather than causal liquidity spillovers.

Keywords: Liquidity dependence, Amihud illiquidity, mutual information, minimum spanning tree, community analysis

STRUCTURAL ANALYSIS-BASED DESIGN OPTIMIZATION AND MATERIAL COMPARISON OF AUXETIC CELLULAR STRUCTURES

Tarık Özdemir

Nurol Makina: Ankara, TR - Survivability Systems Design Engineer, Research and Development

ORCID: 0009-0000-7484-8248

ABSTRACT

This study aims to improve the structural performance of an auxetic cellular structure through geometric modifications and material selection. Initially, an auxetic structure with a star-shaped and re-entrant unit cell geometry was modeled using CATIA V5 and analyzed under tensile loading using ANSYS/LS-DYNA. The initial design was evaluated using Structural Steel, and subsequently modified by introducing 1 mm radius fillets at sharp corners to reduce stress concentrations and increasing the wall thickness by 2 mm to improve stiffness and load-carrying capacity. The effects of these design modifications were evaluated based on von Mises stress and maximum deformation. Under a tensile load of 50,000 N, the addition of fillets alone provided a limited improvement in the maximum stress, while the increase in wall thickness resulted in the most significant improvement in structural performance. For the optimized geometry, the maximum von Mises stress decreased from 327.09 MPa to 228.09 MPa, while the maximum deformation decreased from 0.62913 mm to 0.25032 mm. The optimized geometry was subsequently analyzed using Titanium Alloy and Aluminium Alloy to investigate the effect of material selection on structural behavior. The results showed that Structural Steel provided the lowest deformation, whereas Titanium Alloy offered the highest safety margin due to its higher yield strength. Overall, the results demonstrate that geometric optimization, particularly increasing the wall thickness, has a more significant effect on improving the structural performance of the auxetic structure than material modification alone.

AUXETIC HÜCRESEL YAPILARIN YAPISAL ANALİZ TABANLI TASARIM OPTİMİZASYONU VE MALZEME KARŞILAŞTIRMASI

ÖZET

Bu çalışmada, auxetic hücresel bir yapının yapısal performansının geometrik iyileştirmeler ve farklı malzeme seçenekleri kullanılarak geliştirilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak, yıldız biçimli ve yeniden girişli (re-entrant) hücre geometrisine sahip auxetic yapı CATIA V5 ortamında modellenmiş ve ANSYS/LS-DYNA kullanılarak çekme yükü altında sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Başlangıç tasarımı Structural Steel malzemesi kullanılarak incelenmiş, ardından keskin köşe bölgelerinde oluşan gerilme yığılmalarını azaltmak amacıyla 1 mm yarıçaplı radyüsler eklenmiş ve hücre duvar kalınlığı 2 mm artırılmıştır. Tasarım değişikliklerinin etkisi, von Mises gerilmesi ve maksimum deformasyon değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. 50.000 N çekme yükü altında gerçekleştirilen analizler sonucunda, yalnızca radyüs eklenmesi maksimum gerilmede sınırlı bir iyileşme sağlarken, duvar kalınlığının artırılması yapısal performansta en belirgin gelişmeyi sağlamıştır. Optimize edilmiş geometri için maksimum von Mises gerilmesi 327,09 MPa'dan 228,09 MPa'a, maksimum deformasyon ise 0,62913 mm'den 0,25032 mm'ye düşürülmüştür. Optimize edilen geometri daha sonra Titanium Alloy ve Aluminium Alloy malzemeleri kullanılarak analiz edilmiş ve malzeme değişiminin gerilme ve deformasyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar,

Structural Steel'in en düşük deformasyonu sağladığını, Titanium Alloy'un ise yüksek akma dayanımı sayesinde en yüksek güvenlik marjını sunduğunu göstermiştir. Genel olarak, auxetic yapının yapısal performansının geliştirilmesinde geometrik optimizasyonun, özellikle hücre duvar kalınlığının artırılmasının, malzeme değişimine kıyasla daha belirgin bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

FARKLI KALSİYUM KAYNAKLARININ MİKROBİYAL KALSİYUM KARBONAT OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Assoc. Prof. Dr. Ecren UZUN YAYLACI

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Fisheries, 53100, Rize

ORCID ID: 0000-0002-2558-2487

ÖZET

Mikrobiyal kalsiyum karbonat çökmesi (Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation, MICP), mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri sonucunda kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşumunu sağlayan çevre dostu bir biyomineralizasyon mekanizmasıdır. Son yıllarda bu yöntem, biyobeton teknolojilerinde çatlakların kendiliğinden onarılması, betonun dayanıklılığının artırılması ve yapıların servis ömrünün uzatılması amacıyla yaygın olarak araştırılmaktadır. MICP sürecinin etkinliği yalnızca kullanılan mikroorganizmanın biyomineralizasyon kapasitesine değil, aynı zamanda ortamda bulunan kalsiyum kaynağının kimyasal özelliklerine de bağlıdır. Kullanılan farklı kalsiyum tuzları, oluşan kalsiyum karbonatın miktarını, kristal morfolojisini ve polimorf yapısını etkileyerek biyobetonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde önemli farklılıklara neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, kalsiyum klorür (CaCl_2) ve kalsiyum asetat olmak üzere iki farklı kalsiyum kaynağının mikrobiyal kalsiyum karbonat oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aynı kültür koşullarında gerçekleştirilen biyomineralizasyon deneylerinde, farklı kalsiyum kaynaklarının çökelti oluşumu, kristal morfolojisi ve çökeltme verimi üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, kullanılan kalsiyum kaynağına bağlı olarak oluşan kalsiyum karbonatın kristal büyüklüğü, şekli ve kümelenme davranışında belirgin farklılıklar meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca çökeltme miktarının da kullanılan kalsiyum tuzunun özelliklerinden etkilendiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, biyobeton uygulamalarında tercih edilen kalsiyum kaynağının biyomineralizasyon sürecinin verimliliğini ve oluşan kalsiyum karbonatın yapısal özelliklerini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Uygun kalsiyum kaynağının seçimi, daha homojen ve dayanıklı biyomineral oluşumunu destekleyerek biyobetonun uzun dönem performansının iyileştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu çalışma, biyobeton uygulamalarında kullanılacak kalsiyum kaynaklarının belirlenmesine yönelik temel veriler sunmakta ve MICP tabanlı yapı malzemelerinin geliştirilmesine katkı sağlayacak önemli bulgular ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikrobiyal kalsiyum karbonat çökmesi, MICP, kalsiyum klorür, kalsiyum asetat, biyobeton, biyomineralizasyon.

EVALUATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT CALCIUM SOURCES ON MICROBIALY INDUCED CALCIUM CARBONATE PRECIPITATION

ABSTRACT

Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP) is an environmentally friendly biomineralization process in which microorganisms induce the formation of calcium carbonate (CaCO_3) through their metabolic activities. In recent years, MICP has attracted considerable attention for its potential applications in bio-concrete technology, particularly for autonomous crack healing, enhancing concrete durability, and extending the service life of concrete structures. The efficiency of the MICP process depends not only on the biomineralization

capability of the selected microorganisms but also on the physicochemical properties of the calcium source used in the precipitation medium. Different calcium salts can significantly influence the quantity, crystal morphology, and polymorphic composition of the precipitated calcium carbonate, thereby affecting the mechanical and durability properties of bio-concrete. In this study, the effects of two different calcium sources, calcium chloride (CaCl_2) and calcium acetate, on microbially induced calcium carbonate precipitation were investigated. Biomineralization experiments were conducted under identical culture conditions, and the influence of the calcium sources on precipitation efficiency, crystal morphology, and calcium carbonate formation was comparatively evaluated. The results demonstrated that the calcium source markedly affected the morphology, crystal size, and aggregation behavior of the precipitated calcium carbonate. In addition, variations in the amount of calcium carbonate produced were observed depending on the calcium salt employed.

The findings suggest that the selection of an appropriate calcium source plays a critical role in determining the efficiency of the biomineralization process and the structural characteristics of the resulting calcium carbonate. Optimizing the calcium source may promote the formation of more homogeneous and durable biominerals, thereby improving the long-term performance of bio-concrete. This study provides valuable insights into the selection of suitable calcium sources for MICP-based bio-concrete applications and contributes to the development of sustainable, high-performance construction materials.

Keywords: Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP), calcium chloride, calcium acetate, bio-concrete, biomineralization, calcium carbonate.

ERNST CASSIRER'İN *DEVLET EFSANESİ* BAĞLAMINDA SİYASAL ALANIN SÖYLENCELEŞTİRİLMESİ VE MODERN MİT TEKNİĞİ

Dr. Öğr Üyesi Mehmet Fatih ÜNAL

Afyon Kocatepe University, Faculty of Arts and Science, Department of Philosophy, Merkez/
Afyonkarahisar

ORCID ID: 0000-0001-7385-8786

ÖZET

Yeni-Kantçı Marburg okulunun temsilcisi ve sembolik formlar felsefesinin kurucusu Ernst Cassirer, ölümünden kısa bir süre önce kaleme aldığı *Devlet Efsanesi* (*The Myth of the State*) adlı eserinde, 20. yüzyılın büyük siyasal krizlerini ve totaliter rejimlerini felsefi antropoloji ile kültür kuramı zemininde tahlil eder. Aydınlanma düşüncesinin aksine mitin tarihin ilkel bir evresinde kalıp bütünüyle silinmediğini gösteren Cassirer'e göre, toplumsal çaresizlik ve kurumsal çözülme dönemlerinde bastırılmış "söylencebilimsel düşünce" (mit) siyasal alanı yeniden ele geçirmektedir. Bu çalışmada, Antik Yunan'da başlayan Logos-Mythos mücadelesi; Machiavelli'nin ahlaktan yalıtılmış siyaset tekniğinin sonuçları; Carlyle'ın kahraman kültü, Gobineau'nun ırkçı kaderciliği ve Hegelci devlet yüceltmesi çizgisinde modern siyasal mitlerin düşünsel hazırlık safhaları incelenmektedir. Çalışmanın ana odağını, ilkel insanın doğallıkla ve kolektif duyguyla ürettiği geleneksel mitlerin aksine, 20. yüzyılda kitle iletişim araçlarıyla imal edilen "yapay/teknik mitler" oluşturmaktadır. Cassirer, modern siyasal mitlerin kurnaz siyaset zanaatkârları tarafından bilinçli, planlı ve teknik bir aygıt olarak üretildiğini gösterir. Bu süreçte dilin dönüştürülmesi, kitlesel ritüeller, büyüsel sözcükler, karizmatik lider kültü ve kadercilik duygusu aracılığıyla modern insanın özgürlüğünden vazgeçerek iradesini totaliter iktidara teslim edişi çözümlenmektedir. Çalışmanın sonucunda, Cassirer'in felsefesinin modern siyaseti mitik manipülasyonlara karşı uyarıcı eleştirel bir savunma hattı kurduğu; etik otonominin ve rasyonel siyasetin korunmasının ancak modern mit tekniklerinin mantıksal ve felsefi yapısının deşifre edilmesiyle mümkün olabileceği ortaya konulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ernst Cassirer, Devlet Efsanesi, Siyasal Mit, Logos, Modern Mit Tekniği

THE MYTHICIZATION OF THE POLITICAL SPHERE AND THE MODERN TECHNIQUE OF MYTH IN THE CONTEXT OF ERNST CASSIRER'S *THE MYTH OF THE STATE*

ABSTRACT

Ernst Cassirer, a prominent representative of the Neo-Kantian Marburg School and the founder of the philosophy of symbolic forms, analyzes the profound political crises and totalitarian regimes of the twentieth century on the grounds of philosophical anthropology and cultural theory in his late masterpiece, *The Myth of the State*. Demonstrating, contrary to the assumptions of the Enlightenment, that myth does not remain in a primitive phase of history to be entirely eradicated by reason, Cassirer argues that during periods of social despair and institutional breakdown, repressed "mythical thought" re-emerges to seize the political sphere. This study examines the intellectual stages that prepared the ground for modern political myths along the trajectory of the ancient struggle between *Logos* and *Mythos*, the consequences of Machiavelli's political technique divorced from morality, Carlyle's cult of the hero, Gobineau's racial fatalism, and the Hegelian deification of the state. The primary focus of this study lies in

the “artificial/technical myths” manufactured through mass media in the twentieth century, in contrast to the spontaneous and organically emerging traditional myths of primitive humanity. Cassirer demonstrates that modern political myths are consciously, methodically, and technically engineered as instruments by crafty political technicians. This paper analyzes how modern individuals renounce their freedom and surrender their will to totalitarian power through the transmutation of language, mass rituals, magic words, the charismatic leader cult, and a pervasive sense of fatalism. Consequently, the study concludes that Cassirer’s philosophy establishes a critical line of defense warning modern politics against mythical manipulations, showing that the preservation of ethical autonomy and rational politics is only possible through deciphering the logical and philosophical anatomy of modern myth techniques.

Keywords: Ernst Cassirer, The Myth of the State, Political Myth, Logos, Modern Technique of Myth,

SOSYAL MEDYADA BAŞLAYAN VE YÜZ YÜZE BAŞLAYAN ROMANTİK İLİŞKİLERİN BAĞLANMA STİLLERİ, SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞI VE KİŞİLİK TİPLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Yasemin Ayşe SANCAK

İstanbul Arel Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Psikoloji Anabilim Dalı, Klinik Psikoloji Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

ORCID ID: 0009-0008-2299-4717

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, sosyal medyada başlayan ve yüz yüze başlayan romantik ilişkileri bağlanma stilleri, sosyal medya bağımlılığı ve kişilik tipleri açısından karşılaştırmak; ayrıca bu değişkenler arasındaki ilişkileri ve demografik değişkenler ile sosyal medya kullanım özelliklerine göre farklılaşp farklılaşmadığını incelemektir.

Araştırma nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın örneklemini romantik ilişki deneyimine sahip 402 yetişkin birey oluşturmaktadır. Araştırma verileri Yakın İlişkilerde Yaşantılar Envanteri-II, Sosyal Medya Bağımlılığı Ölçeği-Yetişkin Formu ve On Maddelik Kişilik Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Verilerin analizinde IBM SPSS Statistics 27 programından yararlanılmıştır. Ölçeklerin güvenirliği Cronbach alfa katsayıları ile değerlendirilmiştir. Veri setinin normal dağılım gösterdiği çarpıklık ve basıklık değerleri ile doğrulanmıştır. İstatistiksel analizlerde bağımsız örneklem t-testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Pearson korelasyon analizi kullanılmış; tüm analizlerde anlamlılık düzeyi .05 olarak kabul edilmiştir.

Araştırma bulguları incelendiğinde, kaçınmacı ve kaygılı bağlanmanın sosyal medya bağımlılığı, sanal tolerans ve sanal iletişim ile pozitif yönde ilişkili olduğu; dışadönüklük, uyumluluk ve duygusal dengelilik ile negatif yönde ilişkili olduğu saptanmıştır. Kaygılı bağlanmanın ayrıca zeka/hayal gücü ile pozitif, sorumluluk ile negatif yönde ilişkili olduğu belirlenmiştir. Sosyal medya bağımlılığı arttıkça sanal tolerans, sanal iletişim ve zeka/hayal gücü puanlarının arttığı; buna karşılık dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk ve duygusal dengelilik puanlarının azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte sanal toleransın sanal iletişim ve zeka/hayal gücü ile pozitif; dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk ve duygusal dengelilik ile negatif yönde ilişkili olduğu belirlenmiştir. Sanal iletişim ise dışadönüklük ile pozitif, uyumluluk, sorumluluk ve duygusal dengelilik ile negatif yönde anlamlı ilişki göstermiştir. Benzer biçimde romantik ilişkinin başlangıç biçimi, sosyal medya kullanım süresi ve çeşitli demografik değişkenlere göre bağlanma stilleri, sosyal medya bağımlılığı ve kişilik özelliklerinde anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, sosyal medya aracılığıyla başlayan ilişkilerde sosyal medya bağımlılığı ve kaygılı bağlanma düzeylerinin daha yüksek olması, dijital ortamda kurulan romantik ilişkilerin psikolojik dinamiklerinin geleneksel yollarla başlayan ilişkilere göre farklılaştığını ortaya koymaktadır. Ayrıca bağlanma stilleri ile sosyal medya bağımlılığı ve kişilik özellikleri arasında anlamlı ilişkilerin bulunması, romantik ilişkilerin oluşumunda ve sürdürülmesinde bireysel psikolojik özelliklerin önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Romantik ilişkiler, Bağlanma Stilleri, Sosyal Medya Bağımlılığı, Kişilik Özellikleri

COMPARISON OF ROMANTIC RELATIONSHIPS INITIATED THROUGH SOCIAL MEDIA AND FACE-TO-FACE IN TERMS OF ATTACHMENT STYLES, SOCIAL MEDIA ADDICTION, AND PERSONALITY TRAITS

ABSTRACT

The aim of this study is to compare romantic relationships initiated through social media and those initiated face-to-face in terms of attachment styles, social media addiction, and personality traits, as well as to examine the relationships among these variables and whether they differ according to demographic characteristics and social media usage patterns.

The study was conducted using the relational survey model, one of the quantitative research methods. The sample consisted of 402 adults with romantic relationship experience. Data were collected using the Experiences in Close Relationships Inventory-II (ECR-II), the Social Media Addiction Scale-Adult Form, and the Ten-Item Personality Inventory (TIPI). Data were analyzed using IBM SPSS Statistics 27. The reliability of the measurement instruments was evaluated using Cronbach's alpha coefficients. The normality of the data was confirmed by examining skewness and kurtosis values. Independent samples t-test, one-way analysis of variance (ANOVA), and Pearson correlation analysis were employed for statistical analyses, and the level of significance was set at .05 for all analyses.

The findings revealed that both avoidant and anxious attachment were positively associated with social media addiction, virtual tolerance, and virtual communication, while they were negatively associated with extraversion, agreeableness, and emotional stability. In addition, anxious attachment was positively associated with openness to experience and negatively associated with conscientiousness. As social media addiction increased, virtual tolerance, virtual communication, and openness to experience scores also increased, whereas extraversion, agreeableness, conscientiousness, and emotional stability scores decreased. Furthermore, virtual tolerance was positively associated with virtual communication and openness to experience but negatively associated with extraversion, agreeableness, conscientiousness, and emotional stability. Virtual communication was positively associated with extraversion and negatively associated with agreeableness, conscientiousness, and emotional stability. Similarly, significant differences were found in attachment styles, social media addiction, and personality traits according to the mode of relationship initiation, duration of social media use, and various demographic variables.

In conclusion, the higher levels of social media addiction and anxious attachment observed among individuals whose romantic relationships began through social media suggest that the psychological dynamics of digitally initiated romantic relationships differ from those of relationships initiated through traditional face-to-face interactions. Moreover, the significant relationships identified among attachment styles, social media addiction, and personality traits indicate that individual psychological characteristics play an important role in the formation and maintenance of romantic relationships.

Keywords: Romantic Relationships, Attachment Styles, Social Media Addiction, Personality Traits.

RUH SAĞLIĞI ÇALIŞANLARINDA TANRI ALGISININ DEMOGRAFİK VE PSİKOSOSYAL DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

Klinik Psikolog Ömer YILMAZ

Istanbul Arel University, Graduate School of Education, Department of Psychology, PhD

Candidate, Istanbul, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-9278-9878

ÖZET

Tanrı algısı, bireyin Tanrı'ya dair duygu, düşünce, imge ve diğer temsillerinin bütününe ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. Bireylerin Tanrı'ya dair algıları, tanımları ve Tanrı'yı anlamlandırma biçimleri erken dönem yaşam deneyimleri, aile öyküsü, bağlanma biçimi, kültürel özellikleri, dini inancı ve bireysel süreçleri doğrultusunda şekillenmektedir. Bundan dolayı her bireyin zihnindeki Tanrı temsilinin farklı olduğu görülmektedir. Tanrı'nın seven, koruyan, bağışlayan ya da cezalandıran bir figür olarak algılanması, yalnızca bireyin dini yaşantısıyla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda kişinin kendisini, diğer insanları ve dünyayı algılama ve anlamlandırma biçimiyle de yakından ilişkili görülmektedir. Ruh sağlığı çalışanlarının değer ve inanç sistemleri ile mesleki değerlendirme süreçleri, birlikte çalıştıkları hasta veya danışanlara yönelik tutumlarının şekillenmesi, terapötik ilişkinin sağlıklı biçimde kurulması ve kültürel duyarlılığın geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu araştırmanın amacı, ruh sağlığı çalışanlarının Tanrı algısı düzeylerini çeşitli demografik ve psikososyal değişkenler açısından incelemektir. Araştırmanın çalışma grubunu, yaşları 25-55 arasında değişen psikiyatrist, psikolog, psikolojik danışman, psikiyatri hemşiresi, sosyal hizmet uzmanı ve aile hekiminden oluşan 252 ruh sağlığı profesyoneli oluşturmaktadır. Araştırma verileri Sosyodemografik Bilgi Formu, ve Tanrı Algısı Ölçeği aracılığıyla toplanmıştır. Verilerin analizinde, bağımsız örneklem t-testi ve tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Araştırma bulguları incelendiğinde, ruh sağlığı çalışanlarının Tanrı algısı düzeylerinin, cinsiyet, yaş, meslek veya sosyoekonomik düzey açısından anlamlı düzeyde farklılaşma göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşılık Tanrı algısının din/inanç durumu ve dini inanç düzeyine göre anlamlı bir biçimde farklılaştığı görülmüştür. Siyasi görüş zemininde incelendiğinde sağ ve merkez yönelimli katılımcıların, sol yönelimli katılımcılardan daha olumlu bir Tanrı algısına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma sonuçları, ruh sağlığı çalışanlarının Tanrı algılarının dini inanç, siyasi yönelim ve psikolojik durum gibi psikososyal değişkenlerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulguların, ruh sağlığı çalışanlarının kişisel inanç sisteminin anlaşılması ve mesleki uygulamalarında kültürel farklılıklara yönelik farkındalığın geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Tanrı algısı, ruh sağlığı çalışanları, dini inanç, kültürel duyarlılık

EXAMINING GOD IMAGE AMONG MENTAL HEALTH PROFESSIONALS IN TERMS OF DEMOGRAPHIC AND PSYCHOSOCIAL VARIABLES

ABSTRACT

God image is a multidimensional construct encompassing an individual's feelings, thoughts, images, and other representations of God. Individuals' perceptions, conceptualizations, and interpretations of God are shaped by early life experiences, family history, attachment patterns, cultural characteristics, religious beliefs, and individual psychological processes. Consequently, representations of God may vary considerably across individuals. The perception of God as a loving, protective, forgiving, or punitive figure is not limited to an individual's religious experience; rather, it is also closely associated with how individuals perceive and make sense of themselves, other people, and the world around them. The value and belief systems of mental health professionals, as well as their professional evaluation processes, are particularly important in shaping their attitudes toward patients or clients, establishing a healthy therapeutic relationship, and promoting cultural sensitivity. The present study aimed to examine God image among mental health professionals in relation to various demographic and psychosocial variables. The study sample consisted of 252 mental health professionals aged 25–55 years, including psychiatrists, psychologists, psychological counselors, psychiatric nurses, social workers, and family physicians. Data were collected using a Sociodemographic Information Form and the God Image Scale. Independent-samples t-tests and one-way analysis of variance (ANOVA) were conducted to analyze the data. The findings indicated that God image among mental health professionals did not differ significantly according to gender, age, professional group, or socioeconomic status. In contrast, significant differences in God image were observed according to religious affiliation/belief and level of religiosity. Regarding political orientation, participants identifying with right-wing or centrist orientations were found to have a more positive God image than those identifying with a left-wing orientation. Overall, the findings indicate that God image among mental health professionals is associated with psychosocial variables, including religious belief, political orientation, and psychological status. These findings are expected to contribute to a better understanding of mental health professionals' personal belief systems and to enhance awareness of cultural differences in professional practice.

Keywords: God image, mental health professionals, religious belief, cultural sensitivity.

BORDERLINE KİŞİLİK ÖZELLİKLERİ, DEPRESYON VE ÖZ-TİKSİNME ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Hasan Doğuş KARAKOÇ

Arel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü Tepekent İstanbul

ORCID ID: 0009-0006-0866-7426

Dr. Öğr. Üyesi Nilgün ONNAR

Arel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü Tepekent İstanbul

ORCID ID: 0000-0003-3861-801X

ÖZET

Bu araştırmanın temel amacı, yetişkin bireylerde borderline kişilik özellikleri, öz-tiksinme ve depresyon düzeyleri arasındaki ilişkileri incelemektir. Bireyin kendilik algısı ve duygusal düzenleme süreçleri psikopatolojilerin gelişiminde ve sürdürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, özellikle borderline kişilik örüntüleri ile derin bir olumsuz kendilik değerlendirmesi olan öz-tiksinmenin, depresif semptomlar ile nasıl bir ilişki içerisinde olduğunu belirlemek çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini, kolayda örnekleme yöntemiyle ulaşılan ve gönüllü katılım sağlayan 18-72 yaş arası 409 yetişkin birey (Ort.= 32.77; SS=11.91) oluşturmaktadır. Katılımcıların %60.1'i kadın (n=246), %39.9'u erkek (n=163) şeklindedir. Sosyodemografik veriler incelendiğinde örneklemin %54.3'ünün bekar (n=222), %40.8'inin evli (n=167) ve %4.9'unun boşanmış (n=20) olduğu tespit edilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla yapılan Spearman's Rho Korelasyon Analizleri sonucunda incelenen tüm yapılar arasında pozitif yönlü ve ileri düzeyde istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmıştır ($p<0,001$). Elde edilen bulgulara göre bireylerin borderline kişilik özellikleri ile öz-tiksinme düzeyleri arasında orta-yüksek şiddette pozitif bir ilişki mevcuttur ($r=.532$). Benzer şekilde, öz-tiksinme arttıkça depresyon düzeylerinin de anlamlı derecede yükseldiği görülmüştür ($r=.631$). Son olarak borderline kişilik özellikleri ile depresyon arasında örneklemdaki en güçlü pozitif yönlü korelasyon katsayısı elde edilmiştir ($r=.678$). Sonuç olarak; bireyin kendine yönelik hissettiği kronik tiksinti ve borderline kişilik eğilimleri, depresif semptomların şiddetlenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Elde edilen bulgular literatür kapsamında değerlendirildiğinde, klinik müdahalelerde borderline örüntülere eşlik eden öz-tiksinme gibi köklü olumsuz benlik şemalarının çalışılmasının, depresyon tedavisinin etkinliğini arttırmada kritik bir öneme sahip olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Borderline Kişilik Özellikleri, Öz-Tiksinme, Depresyon, Yetişkinlik

DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BORDERLINE PERSONALITY TRAITS, DEPRESSION AND SELF-DISGUST*

ABSTRACT

The main purpose of this study is to investigate the relationship between borderline personality traits, depression, and self-disgust in adults. The sense of self and the emotion regulation process of the individual play crucial roles in developing and maintaining psychopathologies. In this perspective, the study focuses on determining the relationship between depressive symptoms and self-disgust, which is a deep and negative self-evaluation, and borderline personality traits. The sample of the study consists of 409 adults aged from 18 to 72 ($M=32.77$; $Sd=11.91$) who participated voluntarily and were recruited via the convenience sampling

method. Of the participants, 60.1% were female ($n=246$), and 39.9% were male ($n=163$). Also, an analysis of sociodemographic data revealed that 54.3% of the sample were single ($n=222$), 40.8% were married ($n=167$), and 4.9% were divorced ($n=20$). To determine the relationship between the variables, Spearman's Rho Correlation analysis was conducted, and it revealed positive and highly significant statistical associations among all constructs examined ($p<0.001$). The findings indicate a moderate to high positive correlation between borderline personality traits and levels of self-disgust ($r=.532$). Similarly, it was observed that depression levels increased significantly when self-disgust levels increased ($r=.631$). Finally, the strongest positive correlation coefficient in the sample was found between borderline personality traits and depression ($r=.678$). In conclusion, the chronic self-disgust experienced by an individual and their borderline personality traits are directly associated with the exacerbation of depressive symptoms. When these findings are evaluated in the light of existing literature, it appears that addressing deeply rooted negative self-schemas-such as self-disgust accompanying borderline personality traits during clinical interventions could be crucial for enhancing the effectiveness of depression treatment.

Keywords: Borderline Personality Traits, Borderline Personality Features, Self-Disgust, Depression, Adulthood

**ORTAM VİZKOZİTESİ VE MANYETİK ALAN GENLİĞİNİN
Ni_{0.5}Mn_{0.5}Gd_{0.05}Fe_{1.95}O₄ NANOPARÇACIKLARININ MANYETİK HİPERTERMİ
PERFORMANSINA ETKİSİ**

Öğr. Gör. Dr. Çiğdem Elif AKGÜN

Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Science, Department of Physics, 48000 Kötekli,
Muğla

ORCID ID: 0000-0002-3081-0691

ÖZET

Manyetik hipertermi verimliliği nanoparçacıkların içsel manyetik özelliklerinin yanı sıra uygulanan alternatif manyetik alan parametrelerine ve ortam özelliklerine de bağlıdır. Bu çalışmada, nominal bileşimi Ni_{0.5}Mn_{0.5}Gd_{0.05}Fe_{1.95}O₄ olan Gd-katkılı Ni-Mn ferrit nanoparçacıkları sentezlenmiş ve ortam viskozitesi ile uygulanan manyetik alan genliğinin nanoparçacıkların ısıtma etkinliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Nanoparçacıklar birlikte çöktürme yöntemi ile sentezlenmiş ve 600 °C’de 4 saat tavlanmıştır. Sentezlenen nanoparçacıkların yapısal, morfolojik ve manyetik özellikleri XRD, FTIR, TEM ve PPMS teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Manyetik hipertermi deneyleri, farklı manyetik alan genliklerinde, deiyonize su, etilen glikol ve agar bazlı ortamlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanoparçacıkların ısıtma performansı sıcaklık–zaman profilleri üzerinden belirlenmiştir. XRD analizi, kübik spinel yapının oluştuğunu gösterirken, ~33° civarında gözlenen zayıf yansıma olası bir ikincil fazın varlığına işaret etmiştir. TEM görüntülerinde çoğunlukla küçük ve düzensiz şekilli nanoparçacıklar ile aglomerasyon gözlenmiştir. Ayrıca az sayıda çubuk benzeri yapıda kristallitlere de rastlanmıştır. FTIR spektrumları, spinel yapıya ait karakteristik metal–oksijen titreşimlerinin varlığını doğrulamıştır. M–H ölçümleri, 10 K’de 300 K’e kıyasla daha yüksek manyetizasyon, koersivite ve kalıcı manyetizasyon değerleri ile belirgin bir sıcaklık bağımlı manyetik davranışın varlığını ortaya koymuştur. Manyetik hipertermi ölçüm sonuçları; nanoparçacıkların terapötik hipertermi için uygun 42–45 °C sıcaklık aralığına 400 s içerisinde ulaştığını göstererek, alternatif manyetik alan altında etkili bir ısıtma yanıtı sergilediğini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, manyetik alan koşulları ile ortam özelliklerinin Gd katkılı Ni–Mn ferrit nanoparçacıklarının ısıtma performansının kontrolünde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Manyetik hipertermi, spinel ferrit, ortam viskozitesi, alternatif manyetik alan, ısıtma etkinliği

**EFFECT OF MEDIUM VISCOSITY AND ALTERNATING MAGNETIC FIELD
AMPLITUDE ON THE HYPERTHERMIA PERFORMANCE OF
Ni_{0.5}Mn_{0.5}Gd_{0.05}Fe_{1.95}O₄ NANOPARTICLES**

ABSTRACT

Magnetic hyperthermia efficiency depends not only on the intrinsic magnetic properties of nanoparticles but also on the conditions of the applied alternating magnetic field and the surrounding medium. In this study, Gd-doped Ni–Mn ferrite nanoparticles with the nominal composition Ni_{0.5}Mn_{0.5}Gd_{0.05}Fe_{1.95}O₄ were synthesized to investigate the effects of medium viscosity and magnetic field amplitude on their heating behavior. The nanoparticles were synthesized by a co-precipitation method and annealed at 600 °C for 4 h. Structural,

morphological, and magnetic properties of the synthesized nanoparticles were characterized using XRD, FTIR, TEM, and PPMS techniques. Hyperthermia experiments were performed at different magnetic field amplitudes using media with different viscosities, including DI water, ethylene glycol, and an agar-based medium. The heating performance of the nanoparticles was determined from the temperature–time profiles. XRD analysis confirmed the formation of a predominantly cubic spinel ferrite structure, while a weak additional reflection at $\sim 33^\circ$ suggested the possible presence of a minor secondary phase. TEM images showed mainly small and irregularly shaped nanoparticles, with some degree of agglomeration. A smaller number of elongated rod-like crystallites were also observed. FTIR spectra exhibited characteristic metal–oxygen vibrations of the spinel lattice. M–H measurements revealed a clear temperature-dependent magnetic response, with higher magnetization, coercivity, and remanent magnetization observed at 10 K compared with 300 K. Hyperthermia measurements showed an effective alternating-field-induced heating response, with the therapeutically relevant temperature range of 42–45 °C reached within approximately 400 s. These results highlight the combined role of magnetic-field conditions and medium properties in controlling the heating performance of Gd-doped Ni–Mn ferrite nanoparticles.

Keywords: Magnetic hyperthermia, spinel ferrite, medium viscosity, alternating magnetic field, heating efficiency

ADLI DİŞ HEKİMLİĞİ UYGULAMALARI

Öğr. Gör. Gizem YILMAZ

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize

ORCID ID: 0009-0004-0428-9443

ÖZET

Adli diş hekimliği, bireylerin kimliklendirilmesi ve biyolojik profillerinin belirlenmesi amacıyla dental ve kraniyofasiyal verilerden yararlanan, adli bilimlerin önemli uygulama alanlarından biridir. Dişlerin yüksek sıcaklık, travma ve postmortem değişikliklere karşı görece dayanıklı olması; ayrıca bireye özgü anatomik, morfolojik ve tedaviye bağlı özellikler taşıması, dental verilerin özellikle kimliği bilinmeyen bireylerin ve kitlesel afet mağdurlarının tanımlanmasında etkin biçimde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Adli diş hekimliği uygulamaları; antemortem ve postmortem dental kayıtların karşılaştırılmasının yanı sıra radyografik incelemeler, restorasyonlar, endodontik tedaviler, kron ve köprüler, hareketli protezler ve implantlar üzerinden gerçekleştirilen kimliklendirme işlemlerini kapsamaktadır. Bununla birlikte, yaş ve cinsiyet tahmini de bu alanın başlıca uygulamalarındandır. Palatal ruga analizi, cheiloskopi ve dil morfolojisinin değerlendirilmesi ise kimliklendirme sürecini destekleyen yardımcı yöntemler arasında yer almaktadır. Günümüzde intraoral tarayıcılar, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, üç boyutlu modelleme ve virtopsi gibi dijital teknolojilerin kullanımı, dental bulguların daha ayrıntılı, ölçülebilir ve arşivlenebilir biçimde elde edilmesine ve kayıt altına alınmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca yapay zekâ ve makine öğrenmesi temelli sistemler; yaş ve cinsiyet tahmini, dental morfolojinin analizi ve dijital kayıtların karşılaştırılması bakımından gelişmekte olan uygulamalar olarak öne çıkmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerin dijital teknolojilerle bütünleştirilmesi ve standardize edilmiş dental kayıt sistemlerinin oluşturulması, adli diş hekimliği uygulamalarının hızını, nesnelliğini ve güvenilirliğini artırma potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Adli diş hekimliği, dental kimliklendirme, yaş tahmini, dijital diş hekimliği, intraoral tarama, yapay zekâ

FORENSIC DENTISTRY APPLICATIONS

ABSTRACT

Forensic dentistry is an important field within the forensic sciences that utilizes dental and craniofacial data for human identification and the determination of biological profiles. The relative resistance of teeth to high temperatures, trauma, and postmortem changes, together with their individual-specific anatomical, morphological, and treatment-related characteristics, enables dental data to be effectively used in the identification of unknown individuals and victims of mass disasters. Forensic dental applications include the comparison of antemortem and postmortem dental records, as well as identification procedures based on radiographic examinations, restorations, endodontic treatments, crowns and bridges, removable prostheses, and dental implants. In addition, age and sex estimation represent major areas of application within forensic dentistry. Palatal rugae analysis, cheiloscopy, and assessment of tongue morphology are among the adjunctive methods that may support the identification process.

Currently, the use of digital technologies such as intraoral scanners, cone-beam computed tomography, three-dimensional modeling, and virtopsy allows dental findings to be obtained, documented, quantified, and archived in greater detail. Furthermore, artificial intelligence- and machine learning-based systems are emerging as promising tools for age and sex estimation, dental morphology analysis, and comparison of digital records. The integration of conventional methods with digital technologies, together with the establishment of standardized dental record systems, has the potential to improve the efficiency, objectivity, and reliability of forensic dental applications.

Keywords: Forensic dentistry, dental identification, age estimation, digital dentistry, intraoral scanning, artificial intelligence

AÇIK KAPANIŞ MALOKLÜZYONUNA SAHİP YETİŞKİN BİR HASTADA FULL-MOUTH PROTETİK REHABİLİTASYON: OLGU SUNUMU

Öğr. Gör. Gizem YILMAZ

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize
ORCID ID: 0009-0004-0428-9443

ÖZET:

Amaç: Erişkin bireylerde açık kapanışla ilişkili maloklüzyonlar; çiğneme fonksiyonu, oklüzal stabilite ve estetik görünüm üzerinde önemli olumsuzluklara yol açabilmektedir. Bu olgu sunumunda, açık kapanış maloklüzyonuna sahip yetişkin bir hastada kapsamlı protetik rehabilitasyon uygulanarak oklüzal ilişkinin yeniden düzenlenmesi ve estetik gereksinimlerin laminate veneer restorasyonlar aracılığıyla karşılanması amaçlanmıştır.

Olgu Sunumu: Estetik gereksinimleri nedeniyle kliniğe başvuran 39 yaşındaki kadın hastanın klinik muayenesinde, maksiller anterior bölgede mevcut diastemaların kapatılması amacıyla daha önce uygulanmış geniş kompozit restorasyonlar ile mandibular arkta altı anterior dişi içeren eski bir sabit protetik restorasyon bulunduğu belirlendi. Oklüzal değerlendirmede anterior bölgede açık kapanışın yanı sıra posterior bölgelerde sınırlı ve noktasal oklüzal temasların varlığına bağlı olarak yetersiz bir maksillomandibular oklüzal ilişki saptandı. Mevcut estetik ve fonksiyonel sorunların eş zamanlı olarak giderilmesi amacıyla hastaya full-mouth protetik rehabilitasyon planlandı. Maksiller premolarlar arasındaki estetik bölge, estetik özellikleri ve adeziv uygulamaya uygunluğu nedeniyle lityum disilikat cam-seramik laminate veneer restorasyonlarla tedavi edildi. Diğer prepare edilen dişlerde ise posterior oklüzal yüklere dayanıklılık sağlamak amacıyla monolitik zirkonya kronlar kullanıldı. Restorasyonlar tamamlandıktan sonra anterior açık kapanış giderildi, posterior oklüzal temaslar düzenlendi ve hastanın estetik beklentilerini karşılayan kapsamlı bir protetik rehabilitasyon sağlandı.

Sonuç: Açık kapanış maloklüzyonuna sahip yetişkin hastalarda kapsamlı protetik rehabilitasyon, uygun olgu seçimi ve ayrıntılı oklüzal planlama ile fonksiyonel ve estetik gereksinimlerin eş zamanlı olarak karşılanmasını sağlayabilir. Tam restorasyonlarının laminate veneer restorasyonlarla kombine edilmesi, farklı dental bölgelerin fonksiyonel ve estetik özellikleri doğrultusunda bireyselleştirilmiş bir tedavi yaklaşımının uygulanmasına olanak tanır.

Anahtar kelimeler: Açık kapanış, full-mouth rehabilitasyon, laminate veneer, lityum disilikat, monolitik zirkonya

FULL-MOUTH PROSTHETIC REHABILITATION IN AN ADULT PATIENT WITH OPEN BITE MALOCCLUSION: A CASE REPORT

ABSTRACT

Objective: Open bite-associated malocclusions in adults may adversely affect masticatory function, occlusal stability, and esthetic appearance. This case report aimed to restore the occlusal relationship through comprehensive prosthetic rehabilitation in an adult patient with open bite malocclusion and to address the patient's esthetic requirements using laminate veneer restorations.

Case Report: A 39-year-old female patient presented to the clinic with esthetic concerns. Clinical examination revealed extensive composite restorations previously placed to close

existing diastemas in the maxillary anterior region, as well as an aged fixed prosthetic restoration involving the six mandibular anterior teeth. Occlusal assessment demonstrated an anterior open bite accompanied by limited and point-like occlusal contacts in the posterior regions, resulting in an inadequate maxillomandibular occlusal relationship. Full-mouth prosthetic rehabilitation was planned to simultaneously address the existing esthetic and functional problems. The esthetic region extending between the maxillary premolars was restored with lithium disilicate glass-ceramic laminate veneers because of their favorable esthetic properties and suitability for adhesive bonding. Monolithic zirconia crowns were used for the remaining prepared teeth to provide adequate resistance to posterior occlusal loads. Following completion of the restorations, the anterior open bite was corrected, posterior occlusal contacts were reorganized, and a comprehensive prosthetic rehabilitation that fulfilled the patient's esthetic expectations was achieved.

Conclusion: Comprehensive prosthetic rehabilitation may simultaneously address functional and esthetic requirements in adult patients with open bite malocclusion when appropriate case selection and meticulous occlusal planning are performed. Combining full-coverage restorations with laminate veneers allows an individualized treatment approach based on the distinct functional and esthetic requirements of different regions of the dentition.

Keywords: Open bite, full-mouth rehabilitation, laminate veneer, lithium disilicate, monolithic zirconia.

GELENEKTEN ÇAĞDAŞA: ANADOLU DOKUMA KÜLTÜRÜNÜN ÇAĞDAŞ HEYKEL SANATINA YANSIMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Hokuma SAFARLI AGHASOY

Atatürk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Heykel Bölümü, Erzurum, Türkiye

ORCID: 0000-0001-6636-0074

Handan POLAT

Atatürk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Heykel Anasanat Dalı, Erzurum, Türkiye

ORCID: 0009-0006-7746-9511

Özet

Anadolu dokuma kültürü, halı, kilim, cicim, zili ve benzeri dokuma gelenekleri aracılığıyla yüzyıllar boyunca estetik, teknik ve simgesel değerleri kuşaktan kuşağa aktaran önemli bir kültürel miras alanı oluşturmuştur. Dokuma yüzeylerinde yer alan motifler, renk düzenleri, malzeme çeşitliliği ve üretim teknikleri, yalnızca gündelik yaşamın gereksinimlerini karşılayan işlevsel unsurlar olarak değil, aynı zamanda toplumsal bellek, kimlik ve kültürel sürekliliğin taşıyıcıları olarak değerlendirilmektedir. Bu yönüyle Anadolu dokuma geleneği, kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması açısından önemli bir değer taşımaktadır. Günümüzde çağdaş sanatın disiplinlerarası yaklaşımı, geleneksel üretim pratiklerini yeni malzeme arayışları, farklı anlatım biçimleri ve deneysel uygulamalarla yeniden ele almakta; özellikle çağdaş heykel sanatı, dokuma kültürünü biçimsel, kavramsal ve mekânsal bağlamlarda yeniden yorumlayan önemli bir ifade alanı sunmaktadır.

Bu çalışma, Anadolu dokuma kültürünün çağdaş heykel sanatındaki yansımalarını kültürel mirasın güncel sanat üretimindeki dönüşümü bağlamında incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş; konuya ilişkin ulusal ve uluslararası literatür ile dokuma kültüründen beslenen çağdaş sanat uygulamaları doküman incelemesi yöntemi çerçevesinde değerlendirilecektir. İnceleme kapsamında geleneksel dokuma kültürüne özgü doku, yüzey, ritim, motif, malzeme ve üretim anlayışının çağdaş heykel sanatında estetik ve kavramsal bir ifade biçimi olarak nasıl yeniden yorumlandığı ele alınacaktır. Bunun yanı sıra kültürel mirasın çağdaş sanat aracılığıyla yeniden görünür hâle gelmesi ve geleneksel üretim pratiklerinin güncel sanat söylemi içerisindeki yeri değerlendirilecektir. Çalışmanın, Anadolu dokuma kültürü ile çağdaş heykel sanatı arasındaki etkileşimi disiplinlerarası bir bakış açısıyla ele alarak konuya ilişkin akademik tartışmalara katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anadolu dokuma kültürü, çağdaş heykel sanatı, kültürel miras, disiplinlerarası sanat, dokuma.

FROM TRADITION TO CONTEMPORARY: REFLECTIONS OF ANATOLIAN WEAVING CULTURE IN CONTEMPORARY SCULPTURE

Abstract

Anatolian weaving culture has represented a significant field of cultural heritage by transmitting aesthetic, technical, and symbolic values through traditional weaving practices such as carpets, kilims, cicim, and zili for centuries. The motifs, color compositions, material diversity, and production techniques embodied in these woven forms are regarded not only as functional objects but also as visual expressions of collective memory, cultural identity, and cultural continuity. In this respect, the Anatolian weaving tradition constitutes an important cultural

value that contributes to the preservation and transmission of cultural heritage. Within the interdisciplinary framework of contemporary art, traditional weaving practices are increasingly reinterpreted through innovative materials, experimental approaches, and diverse modes of artistic expression. Contemporary sculpture, in particular, provides a distinctive platform for reimagining the formal, conceptual, and spatial qualities of weaving culture.

This study aims to examine the reflections of Anatolian weaving culture in contemporary sculpture within the context of the transformation of cultural heritage into contemporary artistic production. Adopting a qualitative research approach, the study is based on document analysis of national and international literature together with selected contemporary artistic practices inspired by weaving culture. The research explores how the texture, surface, rhythm, motifs, materials, and production principles of traditional weaving are reinterpreted within contemporary sculpture from aesthetic and conceptual perspectives. Furthermore, the study discusses the visibility of cultural heritage in contemporary art and the role of traditional weaving practices in current artistic discourse. It is expected that this study will contribute to the interdisciplinary discussion on the relationship between Anatolian weaving culture and contemporary sculpture.

Keywords: Anatolian weaving culture, contemporary sculpture, cultural heritage, interdisciplinary art, weaving.

BALKAN MÜZİĞİNDE TÜRK MÜZİĞİ YANSIMALARI VE ÇALGI İCRA UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Özcan ÇETİK

Necmettin Erbakan University State Conservatory of Turkish Music, Konya

ORCID ID: 0000-0002-5788-4893

ÖZET

Geçmiş dönemlerde Osmanlı Devleti'nin Balkan coğrafyasındaki uzun süreli varlığı ve toplumlararası sürekli devam eden kültürel ilişkiler, Osmanlı-Türk müziği ile Balkan halk müzikleri arasında derin ve oldukça katmanlı bir iletişim alanı ortaya çıkartmıştır. Yüzyıllar içerisinde oluşan bu ortak yaşam deneyimi, müziksel etkileşimin yalnızca teorik ve kuramsal düzlemde kalmasını engellemiş; bilakis makam dizilerinin, ritim yapılarının (usûl/ölçü yapıları) ve çalgı icra uygulamalarının müşterek olarak aktarıldığı hibrit ve canlı bir icra geleneğinin başlamasına ortam hazırlamıştır.

Bu araştırmanın temel amacı, Balkan coğrafyasındaki halk müzikleri içerisinde bilhassa Yunan ve Bulgar geleneksel müziklerine odaklanmak, burada Türk makam müziğinin izlerini aramak ve tespit edilen Türk müziği izlerini yaylı çalgı icrâsı eşliğinde ayrıntılandırmaktır. Bu bağlamda araştırma kapsamı, bölgesel farklılığı görünür kılmak adına Yunan ve Bulgar halk müziklerinden seçilen ikişer eserle birlikte toplam 4 örnek eser ile sınırlandırılmıştır.

Nitel araştırma modellerinden betimsel tahlil ve karşılaştırmalı içerik analizinin uygulandığı bu araştırmada; örneklem olarak seçilen eserlerdeki Hicâz, Hicazkâr, Nihavend ve Nikriz gibi makam yapılarının tonal ve ezgisel belirtileri incelenmiştir. Araştırmanın başlıca odak noktasını ise perdesiz yaylı çalgılarda (keman, viyolonsel vb.) uygulanan mikrotanal (koma) seslerin basılış stratejileri, geleneksel yorumlama ve yay kullanım yöntemleri oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular, Türk müziğinin perde zenginliğinin ve tavrı unsurlarının Yunan ve Bulgar icrâ geleneklerinde yerleşik birer ifade aracı durumuna geldiğini kanıtlamaktadır. Aynı zamanda araştırma, eser tahlilleri üzerinden bölgesel etkileşimi somut verilerle göstererek müzik literatürüne katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar kelimeler: Balkan Müziği, Türk Müziği, Çalgı İcrâsı, Makamsal Etkileşim, İcrâ Uygulamaları

REFLECTIONS OF TURKISH MUSIC IN BALKAN MUSIC AND INSTRUMENTAL PERFORMANCE PRACTICES

ABSTRACT

In past eras, the Ottoman Empire's long-standing presence in the Balkans and the ongoing cultural interactions among its diverse communities gave rise to a deep and highly layered sphere of exchange between Ottoman-Turkish music and Balkan folk music. This shared lived experience, which developed over the centuries, prevented musical interaction from remaining solely on a theoretical and conceptual level; rather, it paved the way for the emergence of a hybrid and vibrant performance tradition in which modal scales, rhythmic structures (usûl/meter), and instrumental performance practices were mutually transmitted.

The primary objective of this study is to focus specifically on Greek and Bulgarian traditional music within the folk music traditions of the Balkan region, to search for traces of Turkish modal music within them, and to elaborate on the identified traces of Turkish music accompanied by stringed instrument performances. In this context, the scope of the study is

limited to a total of four sample works—two selected from Greek folk music and two from Bulgarian folk music—in order to highlight regional differences.

In this study, which employs the qualitative research methods of descriptive analysis and comparative content analysis, the tonal and melodic characteristics of makam structures such as Hicaz, Hicazkar, Nihavend, and Nikriz in the selected works were examined. The primary focus of the study, however, is on the playing strategies for microtonal (koma) pitches used on unfretted string instruments (violin, cello, etc.), as well as traditional interpretation and bowing techniques.

The findings demonstrate that the richness of Turkish music's modes and stylistic elements have become established means of expression within Greek and Bulgarian performance traditions. At the same time, the study aims to contribute to music literature by presenting concrete evidence of regional interaction through the analysis of musical works.

Keywords: Balkan Music, Turkish Music, Instrumental Performance, Makam Interaction, Performance Practices

KARBAMOTİYOİL TÜREVİ LİGAND VE RUTENYUM(II) KOMPLEKSİNİN KANSER HEDEF PROTEİNLERİYLE ETKİLEŞİMLERİNİN MOLEKÜLER KENETLENME YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Öğr.Gör.Dr. Ümmühan SOLMAZ

Mersin University, Technical Science Vocational School, Department of Chemistry and
Chemical Processing Technologies, 33343, Çiftlikköy, Mersin

ORCID ID: 0000-0002-3697-577X

ÖZET

Kanser, dünya genelinde ölüm nedenleri arasında ilk sıralarda yer alan kompleks hastalıklardan biri olup, farklı moleküler mekanizmalarla ilişkili çok sayıda biyolojik hedefin tedavi stratejilerinde değerlendirilmesini gerektirmektedir. Mevcut antikanser ilaçların uzun süreli kullanımları sonucunda ortaya çıkan ilaç direnci, düşük seçicilik ve ciddi yan etkiler, yeni ve daha etkili terapötik ajanların geliştirilmesine yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Bu kapsamda, metal kompleksleri ve özellikle rutenyum(II) kompleksleri, uygun koordinasyon geometrileri, ayarlanabilir elektronik özellikleri, biyolojik makromoleküllerle etkileşim kurabilme yetenekleri ve görece düşük sistemik toksisiteleri nedeniyle antikanser ilaç tasarımında önemli aday bileşikler arasında yer almaktadır. Karbamotiyoil türevi ligandlar ise kükürt ve azot donör atomları içeren yapıları sayesinde metal iyonlarıyla kararlı kompleksler oluşturabilmekte ve kompleksleşme sonrasında biyolojik aktivitelerinde önemli değişiklikler gösterebilmektedir.

Moleküler kenetlenme yöntemi, biyolojik olarak aktif bileşiklerin hedef proteinlerle etkileşimlerinin moleküler düzeyde değerlendirilmesini sağlayan ve bilgisayar destekli ilaç tasarımında yaygın olarak kullanılan hesaplamalı bir yaklaşımdır. Bu yöntem sayesinde ligandların hedef proteinin aktif bölgesine bağlanma eğilimleri, bağlanma enerjileri, tercih edilen bağlanma konformasyonları ve hidrojen bağları, hidrofobik etkileşimler, π -etkileşimleri ile diğer nonkovalent etkileşimler ayrıntılı olarak analiz edilebilmektedir. Böylece deneysel biyolojik çalışmalardan önce aday moleküllerin potansiyel biyolojik etkinlikleri ve etki mekanizmaları hakkında önemli öngörüler elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, karbamotiyoil türevi bir ligand ile buna ait rutenyum(II) kompleksinin kanser gelişimi ve ilerlemesinde önemli rol oynayan hedef proteinlerle etkileşimleri moleküler kenetlenme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Hesaplamalı analizler kapsamında bileşiklerin hedef proteinlerin aktif bölgelerine bağlanma eğilimleri, bağlanma modları, bağlanma enerjileri ve moleküller arası etkileşim profilleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, ligandın rutenyum(II) ile kompleksleşmesinin hedef proteinlerle olan etkileşim özellikleri üzerindeki olası etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın, karbamotiyoil türevi metal komplekslerinin kanser hedef proteinleriyle etkileşim mekanizmalarının anlaşılmasına katkı sağlaması ve gelecekte gerçekleştirilecek deneysel antikanser çalışmalarına hesaplamalı düzeyde bilimsel bir temel oluşturması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Karbamotiyoil türevleri, rutenyum(II) kompleksleri, moleküler kenetlenme, kanser hedef proteinleri.

MOLECULAR DOCKING INVESTIGATION OF THE INTERACTIONS OF A CARBAMOTHIOYL-DERIVED LIGAND AND ITS RUTHENIUM(II) COMPLEX WITH CANCER-RELATED TARGET PROTEINS

ABSTRACT

Cancer remains one of the leading causes of mortality worldwide and represents a highly complex disease that requires the investigation of multiple biological targets involved in diverse molecular mechanisms for the development of effective therapeutic strategies. The emergence of drug resistance, limited selectivity, and severe adverse effects associated with currently available anticancer agents has intensified the search for novel and more effective therapeutic candidates. In this context, metal complexes, particularly ruthenium(II) complexes, have attracted considerable attention in anticancer drug discovery owing to their versatile coordination geometries, tunable electronic properties, ability to interact with biological macromolecules, and relatively low systemic toxicity. Carbamothioyl-derived ligands, on the other hand, possess sulfur- and nitrogen-donor atoms that enable the formation of stable coordination complexes with metal ions, and their biological activities may be significantly altered upon complexation.

Molecular docking is a widely employed computational approach in computer-aided drug design for investigating the molecular interactions between biologically active compounds and their target proteins. This technique enables the prediction of ligand binding affinities, preferred binding orientations, binding modes, and intermolecular interactions, including hydrogen bonding, hydrophobic contacts, π -interactions, and other non-covalent interactions within the active site of the target protein. Consequently, molecular docking provides valuable insights into the potential biological activity and mechanism of action of candidate compounds prior to experimental biological evaluation.

In the present study, the interactions of a carbamothioyl-derived ligand and its corresponding ruthenium(II) complex with cancer-related target proteins were investigated using molecular docking. The computational analyses involved a comparative evaluation of the binding affinities, binding modes, and intermolecular interaction profiles of the compounds within the active sites of the selected target proteins. Furthermore, the influence of ruthenium(II) complexation on the protein-binding characteristics of the ligand was assessed. The findings of this study are expected to contribute to a better understanding of the molecular interaction mechanisms of carbamothioyl-derived ruthenium complexes with cancer-related protein targets and to provide a computational framework for future experimental investigations aimed at the development of novel anticancer agents.

Keywords: Carbamothioyl derivatives; ruthenium(II) complexes; molecular docking; cancer-related protein targets.

QCD TOPLAM KURALLARI İLE HADRON SPEKTROSKOPİSİ: GÜNCEL GELİŞMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Birten BARSBAY İNAÇ

Dogus University, Division of Optometry, School of Medical Services and Techniques,
34775 Ümraniye, İstanbul

ORCID ID: 0000-0003-3168-0187

ÖZET

Hadron spektroskopisinin incelenmesi, kuark hapsi (confinement) ve güçlü etkileşimlerin hadronik maddenin oluşumunu yönettiği kuantum kromodinamiğin (QCD) pertürbatif olmayan dinamiklerini keşfetmek için eşsiz bir fırsat sunmaktadır. Son yıllarda, çok sayıda standart ve egzotik hadronik durumun gözlemlenmesi hadron spektrumunu önemli ölçüde genişletmiş ve bu durumların altında yatan yapıları aydınlatmaya yönelik yoğun teorik çalışmaları teşvik etmiştir. Mevcut pertürbatif olmayan yaklaşımlar arasında, QCD toplam kuralları (QCD sum rules), QCD'nin temel serbestlik derecelerini ölçülebilir hadronik gözlemlenebilirlerle ilişkilendirmek için en yaygın kullanılan analitik yöntemlerden biri haline gelmiştir. Bu bildiri, QCD toplam kuralları perspektifinden hadron spektroskopisindeki güncel gelişmelere dair bir genel bakış sunmaktadır. Tartışma, yöntemin standart hadronların yanı sıra tetrakuark, pentakuark, hibrit hadronlar ve hadronik moleküler durumlar gibi egzotik yapılara uygulanmasını da kapsamaktadır. Özellikle, operatör çarpım açılımı (operator product expansion), pertürbatif olmayan vakum kondensatları, ara kesit (interpolating) akımları, ağır kuark kütle şemaları ve güvenilir spektroskopik parametrelerin elde edilmesi üzerinde durulmaktadır. Sistematik belirsizlikler ve model bağımlılığı ile ilişkili başlıca zorluklarla birlikte son teorik gelişmeler eleştirel bir şekilde ele alınmaktadır. QCD toplam kurallarının örgü QCD (lattice QCD), etkin alan teorileri ve devam eden deneysel programlarla tamamlayıcılığı da vurgulanmaktadır. Özellikle, LHCb, Belle II, BESIII'ten gelen hızla artan veriler ve gelecekteki PANDA deneyi, teorik öngörülerini test etmek için yeni fırsatlar sunmaktadır. Genel olarak, bu bildiri QCD toplam kurallarının hadron yapısını aydınlatmadaki öngörü gücünü vurgulamakta ve güçlü etkileşimlerin pertürbatif olmayan rejimini keşfetme yolundaki gelecek beklentilerini özetlemektedir.

Anahtar kelimeler: QCD toplam kuralları, hadron spektroskopisi, egzotik hadronlar

HADRON SPECTROSCOPY VIA QCD SUM RULES: RECENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES

ABSTRACT

The investigation of hadron spectroscopy provides a unique opportunity to explore the nonperturbative dynamics of quantum chromodynamics (QCD), where quark confinement and strong interactions govern the formation of hadronic matter. In recent years, the observation of numerous conventional and exotic hadronic states has significantly expanded the hadron spectrum and motivated intensive theoretical efforts to clarify their underlying structures. Among the available nonperturbative approaches, QCD sum rules have become one of the most widely used analytical methods for relating the fundamental degrees of freedom of QCD to measurable hadronic observables. This contribution presents an overview of recent developments in hadron spectroscopy from the perspective of QCD sum rules. The discussion

covers applications of the method to conventional hadrons as well as exotic configurations, including tetraquarks, pentaquarks, hybrid hadrons, and hadronic molecular states. Particular emphasis is placed on the role of the operator product expansion, nonperturbative vacuum condensates, interpolating currents, heavy-quark mass schemes, and the extraction of reliable spectroscopic parameters. Recent theoretical progress, together with the principal challenges associated with systematic uncertainties and model dependence, is critically discussed. The complementarity of QCD sum rules with lattice QCD, effective field theories, and ongoing experimental programs is also highlighted. In particular, the rapidly increasing data from LHCb, Belle II, BESIII, and the future PANDA experiment provide new opportunities to test theoretical predictions. Overall, this contribution highlights the predictive power of QCD sum rules in elucidating hadron structure and outlines the prospects for further progress in the nonperturbative regime of strong interactions.

Keywords: QCD sum rules, hadron spectroscopy, exotic hadrons

YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNİN HEMŞİRELİK BAKIM SÜRECİNDE KULLANIMI

Öğr. Gör. Ekin İrem Çifçi

Kapadokya University, Vocational School, Nevşehir

ORCID ID: 0009-0008-0481-1886

Öğr. Gör. Cemile Şeyma Gümüş Kürekçi

Kapadokya University, Vocational School, Nevşehir

ORCID ID: 0000-0001-7962-5115

ÖZET

Hemşireler, sağlık hizmeti sunumunda birey, aile ve toplumun sağlıkla ilgili gereksinimlerini belirleyerek bu gereksinimlere uygun hemşirelik bakımını kanıta dayalı yaklaşımlar doğrultusunda planlar, uygular, değerlendirir ve takip eder. Yapay zekâ teknolojilerinin sağlık hizmetlerine yansısıyla sorunlara çözüm üretmek ve hasta güvenliğini artırmak amacıyla hemşirelere önemli roller yüklenmiştir. Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ teknolojilerinin hemşirelik bakım sürecine yansımalarını ve hemşirelerin bu süreçteki rollerini ele almaktır. Çalışma, konuya ilişkin güncel literatür doğrultusunda hazırlanmıştır. Yapay zekâ destekli sistemler, hastaların hayati bulgularının düzenli olarak izlenmesine, sağlık durumundaki değişikliklerin erken dönemde belirlenmesine ve bireysel gereksinimlere uygun bakım planlarının oluşturulmasına olanak sağlar. Yapay zekâ, hemşirelik bakımının kalitesini artırmanın yanı sıra erken ve zamanında müdahaleleri destekleyerek istenmeyen olaylar ile komplikasyonların gelişme riskinin azaltılmasına katkıda bulunur. Hemşireler, sağlık bakım hizmetlerinde yazılı ve elektronik kayıt sistemlerini aktif olarak kullanmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarında kullanılan klinik verilerin toplanması, kaydedilmesi ve yönetilmesinde önemli sorumluluk üstlenmektedirler. Kişiye özgü sağlık bakım hizmetlerinin planlanması ve uygulanmasında yapay zekâ destekli sistemlerden yararlanılabilir. Hemşireler, rutin değerlendirme ve bazı uygulama süreçlerini kendi denetimleri altında bu sistemlere devredebilirler. Bu durum, hemşirelerin daha karmaşık, zaman ve dikkat gerektiren bakım uygulamalarına odaklanmalarına olanak sağlayarak sunulan sağlık bakım hizmetlerinin kalitesinin artırılmasına katkıda bulunabilir. Yapay zekâ, hemşirelik bakımının kalitesini geliştirme, sağlık hizmetlerinin daha verimli ve etkili sunulmasını destekleme ve maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlama potansiyeline sahip önemli teknolojilerden biridir.

Anahtar kelimeler: yapay zekâ, hemşirelik, hemşirelik bakımı

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE NURSING CARE PROCESS

ABSTRACT

Nurses identify the health needs of individuals, families, and communities in healthcare delivery, and plan, implement, evaluate, and monitor appropriate nursing care based on evidence-based approaches. With the integration of artificial intelligence (AI) technologies into healthcare, nurses have been given significant roles in solving problems and improving patient safety. This study aims to examine the impact of AI technologies on the nursing care process and the roles of nurses in this process. The study is prepared in line with current literature on the subject. AI-supported systems enable the regular monitoring of patients' vital signs, the early

identification of changes in health status, and the creation of care plans tailored to individual needs. AI not only improves the quality of nursing care but also contributes to reducing the risk of adverse events and complications by supporting early and timely interventions. Nurses actively use written and electronic record-keeping systems in healthcare services. Therefore, they assume significant responsibility in the collection, recording, and management of clinical data used in AI applications. AI-supported systems can be utilized in the planning and implementation of personalized healthcare services. Nurses can delegate routine assessments and some application processes to these systems under their own supervision. This allows nurses to focus on more complex, time- and attention-demanding care practices, contributing to an improvement in the quality of healthcare services provided. Artificial intelligence is one of the important technologies with the potential to improve the quality of nursing care, support the more efficient and effective delivery of healthcare services, and contribute to cost reduction.

Keywords: artificial intelligence, nursing, nursing care

ÜÇ BÜYÜK DİL MODELİNİN (CLAUDE, CHATGPT VE GEMINI) LOKAL ANESTEZİK SİSTEMİK TOKSİSİTE KLİNİK SENARYOLARINDAKİ PERFORMANSI: VAKA TEMELLİ KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA

Ömer Keklice

ORCID: 0009-0002-2904-9302

Department of Anesthesiology and Reanimation, Konya City Hospital, , Konya, Turkey

ÖZET

Amaç: Büyük dil modelleri (LLM) anesteziyolojide giderek daha fazla klinik karar desteği ve eğitim aracı olarak değerlendirilmektedir. Lokal anestezi sistemik toksisite (LAST), nadir ancak ölümcül olabilen ve kılavuzla iyi tanımlanmış yönetimi olan bir acildir, bu yönüyle LLM doğruluğunu ölçmek için uygun bir alandır. Bu çalışma, üç güncel LLM'nin LAST tanı ve yönetimine ilişkin klinik senaryolardaki doğruluğunu, ASRA pratik danışmanlığı ölçüt alınarak karşılaştırmalı biçimde değerlendirmeyi amaçlamıştır.

Yöntem: Amerikan Rejyonel Anestezi ve Ağrı Tıbbı Derneği (ASRA) pratik danışmanlığı temel alınarak kurgusal, çoktan seçmeli klinik vinyetler geliştirilmiştir. Sorular yüksek güçlükte olacak biçimde tasarlanmış; kılavuzun kesin cevap vermediği gri alanlar, çok adımlı doz hesapları, çelişebilen kılavuz eşikleri ve özel popülasyonlar (pediyatrik, gebe, dirençli arrest) hedeflenmiştir. Şıklar eşit uzunlukta ve eşit derecede makul tonda yazılarak yüzeysel yanıt ipuçları ortadan kaldırılmış; ayrıca tehlikeli ve yakın-doğru çeldiriciler yerleştirilmiştir. Her madde, çalışmanın yürütüldüğü dönemde kamuya açık olan en güncel model sürümleri kullanılarak üç büyük dil modeline sunulmuştur: Claude Opus 4.8 (Anthropic), GPT-5.6 (ChatGPT, OpenAI) ve Gemini 3.1 Pro (Google). Sorular her modele aynı standart komut şablonuyla, birbirinden bağımsız oturumlarda ve üçer tekrarlar verilmiş; her model için tam sürüm adı ve erişim tarihi kaydedilmiştir. Modellerden tek en doğru yanıt istenmiş; doğru yanıtlar güncel ASRA kaynaklarıyla doğrulanmıştır. Gerçek hasta verisi kullanılmamış ve insan katılımcıdan veri toplanmamıştır; çalışma bu nedenle insan denekli araştırma niteliği taşımamaktadır.

Bulgular: Üç model de senaryoların tümünü doğru yanıtlamıştır (doğruluk %100). Tam doğruluk yalnızca bilgi geri çağırma gerektiren maddelerde değil; klinik muhakeme, aritmetik doz hesabı, negatif kök mantığı ve özel popülasyon yönetimi gerektiren maddelerde de korunmuştur. Tekrarlar arası yanıt tutarlılığı tam olup modeller arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Hiçbir model, kasıtlı olarak yerleştirilen tehlikeli veya yakın-doğru çeldiricileri seçmemiştir (ör. LAST'a bağlı hipotansiyonda fenilefrin/vazopressin, LAST arrestinde standart doz adrenalin, LAST'a bağlı ventriküler aritmide lidokain).

Sonuç: İncelenen üç LLM, gri alan, doz hesabı ve özel popülasyon maddeleri dahil olmak üzere ASRA temelli LAST senaryolarında tam doğruluk göstermiştir. Bu bulgular, LAST gibi iyi kodlanmış bir acil durumda güncel önde gelen LLM'lerin, yüzeysel yanıt ipuçları ortadan kaldırıldığında ve yakın-doğru tuzaklar eklendiğinde bile kılavuz bilgisini güvenilir biçimde uygulayabildiğini düşündürmektedir. Gözlenen tavan etkisi, tek-en-doğru-yanıtlı çoktan seçmeli formatın, kılavuzu doygün alanlarda gelişmiş modelleri ayırt etmede yetersiz kalabileceğini de göstermektedir. Sonuçlar yalnızca test edilen model sürümleri için geçerlidir ve açık uçlu, belirsiz ya da gerçek klinik koşullarda güvenilirlik anlamına gelmez; LLM'ler uzman klinik muhakemenin yerini almamalıdır.

Anahtar Kelimeler: lokal anestezi sistemik toksisite; büyük dil modelleri; klinik karar desteği

PERFORMANCE OF THREE LARGE LANGUAGE MODELS (CLAUDE, CHATGPT, AND GEMINI) ON CLINICAL SCENARIOS OF LOCAL ANESTHETIC SYSTEMIC TOXICITY: A COMPARATIVE VIGNETTE-BASED STUDY

ABSTRACT

Objective: Large language models (LLMs) are increasingly evaluated as clinical decision-support and educational tools in anesthesiology. Local anesthetic systemic toxicity (LAST) is a rare but potentially fatal emergency with well-defined, guideline-based management, making it a suitable domain for benchmarking LLM accuracy. This study aimed to comparatively evaluate the accuracy of three contemporary LLMs on clinical scenarios of LAST diagnosis and management, using the ASRA practice advisory as the reference standard.

Methods: Fictitious multiple-choice clinical vignettes were developed based on the American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine (ASRA) practice advisory on LAST. Items were designed to be difficult, targeting guideline gray zones, multi-step dose calculations, conflicting guideline thresholds, and special populations (pediatric, pregnant, refractory arrest). Answer options were written to be of equal length and comparable plausibility to remove superficial cues, and dangerous and near-correct distractors were embedded. Each item was presented to three large language models using the latest publicly available version of each at the time of the study: Claude Opus 4.8 (Anthropic), GPT-5.6 (ChatGPT, OpenAI), and Gemini 3.1 Pro (Google). Items were delivered via an identical standardized prompt, in independent sessions, with three repetitions per item; the exact version name and access date were recorded for each model. A single best answer was required and verified against current ASRA sources. No real patient data were used and no human participants were surveyed; the study therefore did not constitute human-subjects research.

Results: All three models answered every item correctly (accuracy 100%). Full accuracy was preserved not only on knowledge-recall items but also on items requiring clinical reasoning, arithmetic dose calculation, negative-stem logic, and special-population management. Inter-repetition consistency was complete, and no significant between-model differences were detected. No model selected any dangerous or near-correct distractor (e.g., phenylephrine or vasopressin for LAST-associated hypotension, standard-dose epinephrine in LAST arrest, lidocaine for LAST-related ventricular arrhythmia).

Conclusion: The three LLMs demonstrated perfect accuracy on ASRA-based LAST scenarios, including gray-zone, calculation-based, and special-population items. These findings suggest that, for a well-codified emergency such as LAST, current leading LLMs reliably apply guideline knowledge even when superficial answer cues are removed and near-correct traps are added. The observed ceiling effect also indicates that single-best-answer multiple-choice formats may be insufficient to discriminate between advanced models in guideline-saturated domains. Results apply only to the tested model versions and do not establish clinical reliability in open-ended, ambiguous, or real-world settings; LLMs should not replace expert clinical judgment.

Keywords: local anesthetic systemic toxicity; large language models; clinical decision support

KAYNAKLAR

1. Beil, J., Aggarwal, I., & Devarapalli, M. (2025). Comparative accuracy assessment of large language models in cardiothoracic anesthesia: A performance analysis of Claude and ChatGPT-4 on subspecialty board-style questions. *Cureus*, 17(7), e88591. <https://doi.org/10.7759/cureus.88591>
2. Dickerson, D. M., & Apfelbaum, J. L. (2014). Local anesthetic systemic toxicity. *Aesthetic Surgery Journal*, 34(7), 1111–1119. <https://doi.org/10.1177/1090820X14543102>
3. Fettiplace, M. R., & Weinberg, G. (2018). The mechanisms underlying lipid resuscitation therapy. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 43(2), 138–149. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000719>
4. Lee, S. H., Kim, S., & Sohn, J.-T. (2024). Lipid emulsion treatment for local anesthetic systemic toxicity in pediatric patients: A systematic review. *Medicine*, 103(11), e37534. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000037534>
5. Long, B., Chavez, S., Gottlieb, M., Montrieff, T., & Brady, W. J. (2022). Local anesthetic systemic toxicity: A narrative review for emergency clinicians. *The American Journal of Emergency Medicine*, 59, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2022.06.017>
6. Neal, J. M., Barrington, M. J., Fettiplace, M. R., Gitman, M., Memtsoudis, S. G., Mörwald, E. E., Rubin, D. S., & Weinberg, G. (2018). The third American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine practice advisory on local anesthetic systemic toxicity: Executive summary 2017. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 43(2), 113–123. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000720>
7. Neal, J. M., Neal, E. J., & Weinberg, G. L. (2021). American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine local anesthetic systemic toxicity checklist: 2020 version. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 46(1), 81–82. <https://doi.org/10.1136/rapm-2020-101986>
8. Neal, J. M., Woodward, C. M., & Harrison, T. K. (2018). The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine checklist for managing local anesthetic systemic toxicity: 2017 version. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 43(2), 150–153. <https://doi.org/10.1097/AAP.0000000000000726>
9. On'Gele, M. O., Weintraub, S., Qi, V., & Kim, J. (2024). Local anesthetics, local anesthetic systemic toxicity (LAST), and liposomal bupivacaine. *Anesthesiology Clinics*, 42(2), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2023.11.011>
10. Tsuji, M., Nii, M., Furuta, M., Baba, S., Maenaka, T., Matsunaga, S., Tanaka, H., Sakurai, A., Kato, R., Takeda, J., Nakao, M., Nakamura, E., Yamashita, T., Yamahata, Y., Enomoto, N., & Hosokawa, Y. (2024). Intravenous lipid emulsion for local anaesthetic systemic toxicity in pregnant women: A scoping review. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 24(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-06309-1>

TİP 2 DİABETES MELLİTUSTA ENDOTEL AKTİVASYON VE STRES İNDEKSİNİN DİYABETİK MAKÜLER ÖDEM İLE İLİŞKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Büşra ÇALIŞKAN

Atatürk Üniversitesi, Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Anabilimdalı, Erzurum, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2350-184X (B Çalışkan)

Op. Dr. Nurcan GÜRSOY

Of Devlet Hastanesi, Göz Hastalıkları Bölümü, Trabzon, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-2016-5294 (N Gürsoy)

ÖZET

Diyabetik maküler ödem (DMÖ), diyabetik retinopatinin (DRP) herhangi bir evresinde gelişebilen ve görme kaybının önemli nedenlerinden biri olan mikrovasküler bir komplikasyondur. Bu çalışmada, tip 2 diabetes mellituslu hastalarda Endotel Aktivasyon ve Stres İndeksi (EASIX) ile DMÖ arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi ve EASIX düzeylerinin DRP şiddetine göre değişiminin araştırılması amaçlandı. Retrospektif kesitsel çalışmaya tam laboratuvar verileri ve oftalmolojik muayene kayıtları bulunan 101 tip 2 diyabetli hasta dahil edildi. DMÖ varlığı oftalmolojik muayene ve optik koherens tomografi bulgularına göre belirlendi. DRP; retinopati olmayan, hafif/orta non-proliferatif DRP, şiddetli non-proliferatif DRP ve proliferatif DRP (PDR) olarak sınıflandırıldı. EASIX, laktat dehidrogenaz × kreatinin/trombosit sayısı formülüyle hesaplandı. Hastaların 57'sinde DMÖ saptanırken 44'ünde DMÖ yoktu. EASIX değerleri DMÖ bulunan hastalarda anlamlı olarak daha yüksekti ($-0,040$ 'a karşı $-0,150$; $p=0,001$). ROC analizinde EASIX'in DMÖ varlığını ayırt etme performansı AUC=0,63 olarak bulundu (%95 GA: 0,528–0,746; $p=0,018$). Yaş, cinsiyet ve HbA1c'nin dahil edildiği çok değişkenli analizde EASIX, DMÖ ile anlamlı düzeyde ilişkiliydi (OR=16,778; %95 GA: 2,163–130,140; $p=0,007$). Bununla birlikte DRP şiddeti modele eklendiğinde bu ilişki bağımsız anlamlılığını kaybetti. EASIX düzeyleri DRP şiddetine göre farklılık gösterirken en yüksek değerler PDR grubunda saptandı. Sonuç olarak EASIX, DMÖ'ye özgü bağımsız bir biyobelirteçten ziyade, diyabetik retinopatide sistemik endotelial stres ve mikrovasküler hastalık yükünü yansıtan tamamlayıcı bir belirteç olabilir.

Anahtar kelimeler: Diyabetik maküler ödem, diyabetik retinopati, EASIX, endotelial disfonksiyon, tip 2 diabetes mellitus

ASSOCIATION BETWEEN THE ENDOTHELIAL ACTIVATION AND STRESS INDEX AND DIABETIC MACULAR EDEMA IN TYPE 2 DIABETES MELLITUS

ABSTRACT

Diabetic macular edema (DME) is a microvascular complication that may develop at any stage of diabetic retinopathy (DRP) and represents an important cause of visual impairment. This study aimed to evaluate the association between the Endothelial Activation and Stress Index (EASIX) and DME in patients with type 2 diabetes mellitus and to investigate whether EASIX levels vary according to DRP severity. This retrospective cross-sectional study included 101 patients with type 2 diabetes who had complete laboratory data and ophthalmological examination records. The presence of DME was determined based on ophthalmological examination and optical coherence tomography findings. DRP was classified as no DRP,

mild/moderate non-proliferative DRP, severe non-proliferative DRP, or proliferative DRP (PDR). EASIX was calculated as lactate dehydrogenase $\times$ creatinine/platelet count. DME was present in 57 patients and absent in 44. EASIX values were significantly higher in patients with DME than in those without DME (-0.040 vs. -0.150 ; $p=0.001$). ROC analysis showed an AUC of 0.63 for EASIX in discriminating DME (95% CI: 0.528–0.746; $p=0.018$). In multivariable analysis including age, sex, and HbA1c, EASIX was significantly associated with DME (OR=16.778; 95% CI: 2.163–130.140; $p=0.007$). However, this association lost its independent significance after adjustment for DRP severity. EASIX levels differed according to DRP severity, with the highest values observed in the PDR group. In conclusion, rather than being an independent DME-specific biomarker, EASIX may serve as a complementary marker reflecting systemic endothelial stress and microvascular disease burden in diabetic retinopathy. **Keywords:** Diabetic macular edema, diabetic retinopathy, EASIX, endothelial dysfunction, type 2 diabetes mellitus

Tablo: DMÖ Durumuna Göre Demografik ve Laboratuvar Değişkenleri

Değişken	DMÖ yok (n=44)	DMÖ var (n=65)	p değeri
Yaş, yıl	67 (60–71)	65 (61–70)	0.327
Cinsiyet, erkek, n (%)	27 (%61.4)	28 (%49.1)	0.221
Hemoglobin, g/dL	14.52 $\pm$ 1.38	14.75 $\pm$ 2.11	0.03
Trombosit sayısı	246.82 $\pm$ 64.56	255.53 $\pm$ 77.43	0.776
Lenfosit sayısı	2.12 $\pm$ 0.78	2.15 $\pm$ 0.66	0.588
HbA1c, %	7.5 $\pm$ 1.5	8.3 $\pm$ 1.56	0.002*
LDH, U/L	202.02 $\pm$ 50.29	231.31 $\pm$ 64.7	0.020*
Kreatinin, mg/dL	0.88 $\pm$ 0.23	1.04 $\pm$ 0.35	0.029*
EASIX (log10)	-0.150	-0.040	0.001*
HbA1c kategorisi			
<6	17 (%38.6)	5 (%8.8)	0.001
7–8	14 (%31.8)	23 (%40.4)	
>8	13 (%29.5)	29 (%50.9)	
DRP dağılımı			
DRP yok	16	0	0.000
Hafif/orta NPDR	25	10	
Şiddetli NPDR	3	16	
PDR	0	31	

DMÖ: diyabetik maküler ödem; DRP: diyabetik retinopati; NPDR: non-proliferatif diyabetik retinopati; PDR: proliferatif diyabetik retinopati; LDH: laktat dehidrogenaz; HbA1c: glikozile hemoglobin; EASIX: Endotel Aktivasyon ve Stres İndeksi. İstatistiksel anlamlılık $p<0,05$ olarak kabul edildi.

2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREM DİZİSİ SIRASINDA HATAY BÖLGESİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN DAVRANIŞININ DEPREM YATAY-DÜŞEY SPEKTRAL ORANLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Assist. Prof. Bilal ÖZASLAN

Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, 40100, Merkez,
Kırşehir, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-7951-1759

ÖZET

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, Türkiye'nin güney kesimlerinde şiddetli yer sarsıntılarına yol açmış olup, bu durum büyük genlikli sismik yükler altında zeminlerde meydana gelen doğrusal olmayan (non-linear) davranışın deprem kayıtlarına dayalı metotlarla analiz edilmesini zaruri kılmıştır. Araştırmada, Hatay ilindeki AFAD kuvvetli yer hareketi gözlem ağından derlenen ivme kayıtları üzerinden deprem yatay-düşey spektral oran (eHVSr) analizi yürütülerek doğrusal olmayan zemin davranışı araştırılmıştır. İncelemeye esas olan Hatay veri seti, kayma dalgası hızları (VS30) 210 m/s ile 870 m/s değerleri aralığında yer alan 12 farklı sismik istasyonu kapsamakta olup, yumuşak alüvyal çökellerden göreceli olarak daha rijit zemin profillerine uzanan geniş bir aralığı yansıtmaktadır.

Zeminlerdeki non-linear tepki, kuvvetli sarsıntı eHVSr spektrumlarının, tepe yer hızı (PGV) 1 cm/s'den düşük olan zayıf yer hareketi verileriyle elde edilen istasyona özgü lineer referans spektrumları ile kıyaslanması prensibine dayanmaktadır. Veri işleme aşamasında geleneksel sabit zaman pencereleri uygulamak yerine, yatay ivme bileşenlerindeki kümülatif sismik enerjinin %5'i ile %75'i arasındaki bölümü dikkate alan, enerjiye özgü S-dalgası zaman pencereleri tercih edilmiştir. Meydana gelen spektral farklılaşmalar; doğrusal olmama derecesi (DNL), tepe frekansı kayması (PFS) ve tepe genlik değişim oranları parametreleri üzerinden sayısal olarak ifade edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, Hatay bölgesi istasyonlarındaki DNL parametresi 2.55 ile 8.95 aralığında hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirmelerde, VS30 parametresinin PGA ve PGV ile birlikte kullanıldığı regresyon modellerinin korelasyon düzeyleriyle; analize kayda özgü S-dalgası süresinin entegre edilmesiyle yapılan hesapların korelasyon düzeyleri kıyaslanarak, belirgin gözlenen artış değerleri sonuçlarda sunulmuştur. Elde edilen bulgular, non-linear zemin tepkisinin tek başına VS30 ve sarsıntı genliği parametreleri ile ifade edilemeyeceğini; dolayısıyla derin havza geometrisi, tabaka empedans farklılıkları ve sismik enerjiyi taşıyan kuvvetli yer hareketi süresi gibi unsurların da sürece dâhil edilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hatay Havzası, Doğrusal Olmayan Zemin Davranışı, S-Dalgası Süresi, eHVSr, 2023 Kahramanmaraş Depremleri

ANALYSIS OF NONLINEAR SITE RESPONSE IN THE HATAY REGION DURING THE 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKE SEQUENCE USING EARTHQUAKE HORIZONTAL-TO-VERTICAL SPECTRAL RATIOS

ABSTRACT

The February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes induced severe ground shaking across the southern regions of Turkey, rendering the evaluation of nonlinear soil behavior under large-amplitude seismic loading via record-based methodologies essential. In this research, nonlinear soil behavior was investigated by conducting earthquake horizontal-to-vertical spectral ratio (eHVSr) analyses on acceleration records compiled from the AFAD strong ground motion observation network in Hatay province. The Hatay dataset subject to examination comprises 12 distinct seismic stations with shear wave velocities (VS30) ranging between 210 m/s and 870 m/s, reflecting a broad spectrum from soft alluvial deposits to relatively stiffer soil profiles.

The nonlinear response in soils is predicated on comparing strong-motion eHVSr spectra with station-specific linear reference spectra derived from weak ground motion records featuring a peak ground velocity (PGV) of less than 1 cm/s. During the data processing phase, rather than applying conventional fixed time windows, energy-specific S-wave time windows were adopted, capturing the 5% to 75% interval of the cumulative seismic energy of the horizontal acceleration components. The resulting spectral variations were quantified through the parameters of degree of nonlinearity (DNL), peak frequency shift (PFS), and peak amplitude change ratios.

According to the analytical results, the DNL parameter across the stations in the Hatay region was calculated to be in the range of 2.55 to 8.95. In the statistical evaluations, the correlation levels of regression models utilizing the VS30 parameter in conjunction with PGA and PGV were compared against the correlation levels of computations integrating the record-specific S-wave duration; the distinctly observed increments are presented in the results. The obtained findings substantiate that nonlinear soil response cannot be solely delineated by VS30 and shaking amplitude parameters; consequently, factors such as deep basin geometry, layer impedance contrasts, and the duration of the strong ground motion carrying the seismic energy must inherently be incorporated into the evaluation process.

Keywords: Hatay Basin, Nonlinear Site Response, S-Wave Duration, Earthquake HVSr, 2023 Kahramanmaraş Earthquake

ORMAN YANGINLARININ DERİN ÖĞRENME TABANLI SINIFLANDIRILMASI**Bartu BAŞARAN**

Department of Computer Engineering, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey

ORCID ID: 0009-0006-4604-4043**Dr. Öğr. Üyesi Ali AKDAĞ**

Department of Computer Engineering, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey

ORCID ID: 0000-0001-9389-0062**ÖZET**

Bu çalışmada, orman yangını görüntülerinin sınıflandırılması problemi için farklı derin öğrenme mimarileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Araştırma kapsamında The Wildfire veri seti kullanılarak, literatürde yaygın olarak tercih edilen ön eğitilmiş (pre-trained) ResNet50, EfficientNet-B7, ConvNeXt-Tiny, MobileNetV3-Large ve Swin Transformer-Tiny mimarileri ile herhangi bir ön eğitim almadan tamamen sıfırdan (from scratch) eğitilen özgün bir Paralel CNN modeli değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, ön eğitilmiş modellerden Swin Transformer-Tiny %97,07 genel doğruluk oranıyla en yüksek başarıyı elde etmiş; bu modeli %96,59 doğruluk oranıyla MobileNetV3-Large takip etmiştir. Yangın tespitinde en kritik hata türünün aktif bir yangının gözden kaçırılması (yanlış negatif) olması nedeniyle modeller yangın sınıfı duyarlılığı (fire-recall) açısından da karşılaştırılmış; bu metrikte en yüksek değere %95,60 ile yine Swin Transformer-Tiny ulaşmıştır. Çalışmada önerilen ~4,67M parametrelili özgün Paralel CNN mimarisi ise ImageNet gibi büyük ölçekli veri setleriyle ön eğitim desteği almamasına rağmen, çok ölçekli evrim (multi-scale convolution) blokları sayesinde %79,27 doğruluk oranına ulaşarak sıfırdan eğitim senaryosunda makul bir temel (baseline) sunmuştur; bununla birlikte %76,73'te kalan fire-recall değeri, yapının güvenlik-kritik senaryolarda kullanılabilmesi için iyileştirmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Çalışmanın bulguları, modern hazır mimarilerin yangın tespitinde yüksek doğruluk oranlarına ulaştığını göstermekle birlikte, elde edilen performansın genellenebilirliğini doğrulamak için daha kapsamlı ve bağımsız test veri setlerine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Orman Yangını Tespiti, Derin Öğrenme, Transfer Öğrenme, Görüntü Sınıflandırma, Paralel CNN

DEEP LEARNING BASED CLASSIFICATION OF FOREST FIRES**ABSTRACT**

In this study, different deep learning architectures were comparatively evaluated for the classification of forest fire images. Using the Wildfire dataset, five widely adopted pre-trained architectures — ResNet50, EfficientNet-B7, ConvNeXt-Tiny, MobileNetV3-Large and Swin Transformer-Tiny — were assessed together with an original Parallel CNN model trained entirely from scratch without any pre-training. According to the experimental results, Swin Transformer-Tiny achieved the highest overall accuracy among the pre-trained models with 97.07%, followed by MobileNetV3-Large with 96.59%. Since the most critical error type in fire detection is missing an active fire (false negative), the models were also compared in terms of fire-class recall; Swin Transformer-Tiny again reached the highest value in this metric with 95.60%. The proposed Parallel CNN, with approximately 4.67M parameters, reached 79.27% accuracy despite receiving no pre-training support from large-scale datasets such as ImageNet,

providing a reasonable baseline for the from-scratch training scenario owing to its multi-scale convolution blocks; however, its fire-recall value of 76.73% indicates that the architecture still requires improvement before it can be used in safety-critical scenarios. Overall, the findings show that modern off-the-shelf architectures attain high accuracy in fire detection, while more comprehensive and independent test sets are needed to verify the generalizability of the reported performance.

Keywords: Forest Fire Detection, Deep Learning, Transfer Learning, Image Classification, Parallel CNN

THE PARADOX OF MODERN EDUCATION: MORE INFORMATION, LESS UNDERSTANDING?

Ravana **GULIYEVA**

Baku State University, Faculty of Chemistry, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0005-3900-947X

Nigar **ALIYEVA**, PhD

Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University,
Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0003-6116-6223

Firuz **MAHARRAMOVA**

Department of Preschool Education Pedagogy, Faculty of Pedagogy, Education and History
of Education, Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0000-0002-5851-6486

Elnara **MAMMADOVA**

Department of Foreign Language Teaching (English), Faculty of Education, Azerbaijan
University of Languages, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0005-1491-4684

ABSTRACT

Purpose: Digital technologies have made information more accessible than at any point in human history, yet educators and cognitive scientists increasingly report that deep comprehension, critical reasoning, and retention among learners have not improved in parallel and may even be declining. This study aims to examine this apparent paradox by investigating how the abundance of readily available information affects students' cognitive engagement, comprehension depth, and long-term understanding compared with more limited, structured information environments.

Materials and Methods: A narrative literature review was conducted, synthesizing findings from cognitive load theory, educational psychology, and digital literacy research published in the last decade. Studies examining learner behavior in information-rich digital environments were compared with research on traditional, curated learning settings. Key constructs analyzed included cognitive load, attention fragmentation, surface versus deep processing, and metacognitive regulation.

Findings: The reviewed literature indicates that unrestricted access to information often increases extraneous cognitive load, encouraging superficial skimming rather than sustained engagement with content. Learners frequently substitute the ability to locate information for the effort of internalizing it, a pattern associated with weaker long-term retention and reduced capacity for synthesis. Structured, guided approaches to information delivery, by contrast, were consistently linked to stronger conceptual understanding, particularly when paired with explicit instruction in evaluating and organizing sources.

Conclusion: The abundance of information characteristic of modern education does not, by itself, translate into understanding; without deliberate pedagogical scaffolding, it may instead undermine it. Educational practice should prioritize curation, critical evaluation skills, and structured engagement over sheer access, ensuring that informational abundance serves rather than substitutes for genuine comprehension.

Keywords: Information Overload, Cognitive Load, Digital Literacy, Deep Learning, Educational Technology

NATURE'S MOLECULAR HACKERS: PLANT COMPOUNDS THAT HIJACK HUMAN CELLULAR PATHWAYS

Ravana **GULIYEVA**

Baku State University, Faculty of Chemistry, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0005-3900-947X

Nigar **ALIYEVA**, PhD

Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University,
Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0003-6116-6223

Shahsanam **SAFAROVA**

PhD Candidate, Institute of Molecular Biology, Azerbaijan National Academy of Sciences,

Department of Mycology, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0009-9841-6509

Sevinc **AMIRASLANOVA**

Head of the Pharmacy Teaching Laboratory established by TİKA, No. 2 Baku Basic Medical
College, Ministry of Health of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Narmin **MAMMADOVA**

Faculty of Life Sciences and Engineering, Khazar University, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0002-0162-4547

Milana **AKİFLİ**

Faculty of Life Sciences and Engineering, Biotechnology, Khazar University, Baku,
Azerbaijan

ORCID ID: 0009-0000-9654-1589

ABSTRACT

Purpose: Plants synthesize a vast array of secondary metabolites that have evolved to interact with molecular targets across biological kingdoms. Beyond their ecological roles, many of these compounds directly engage human cellular signaling networks, effectively “hijacking” pathways that govern inflammation, oxidative stress, proliferation, and apoptosis. This study aims to review and synthesize current mechanistic evidence on how selected plant-derived compounds interact with key human cellular pathways, with a focus on their molecular targets and therapeutic potential.

Materials and Methods: A narrative review of peer-reviewed literature was conducted, focusing on well-characterized phytochemicals including polyphenols (curcumin, resveratrol, quercetin), alkaloids (berberine), and terpenoids. Mechanistic studies examining interactions with core signaling cascades—NF- κ B, PI3K/Akt/mTOR, Nrf2/Keap1, and MAPK pathways—were analyzed to identify common molecular strategies employed by these compounds.

Findings: The reviewed compounds were found to modulate human cellular pathways through several convergent mechanisms: direct binding to enzyme active sites, allosteric modulation of receptor complexes, epigenetic regulation via histone-modifying enzymes, and redox-based activation of transcription factors. Curcumin and resveratrol suppressed NF- κ B-mediated inflammatory signaling while activating Nrf2-driven antioxidant responses. Quercetin demonstrated dual pro- and anti-apoptotic effects depending on cellular context, acting through PI3K/Akt modulation. Berberine emerged as a potent activator of AMPK, influencing cellular energy metabolism.

Conclusion: Plant compounds function as evolutionarily refined molecular effectors capable of precisely modulating human signaling networks. Understanding these “hijacking” mechanisms offers valuable insight for the rational design of phytochemical-based therapeutics, although further clinical validation of bioavailability and target specificity is required.

Keywords: Phytochemicals, Cell Signaling Pathways, NF- κ B, Nrf2, Plant-Derived Compounds

STRUCTURAL CHARACTERIZATIONS AND HOMOMORPHIC PROPERTIES OF SOFT LEFT ALMOST SEMIRINGS

Muhammad Shoaib

Department of Mathematics, Kohat University of Science and Technology,
Kohat, Khyber, Pakhtunkhwa, Pakistan

Abstract

Soft set theory provides a parameterized mathematical framework for dealing with uncertainty, while left almost semirings (LA-semirings) provide a non-associative algebraic structure governed by the left invertive law. Although soft semirings and soft LA-semigroups have been studied separately, the development of a systematic theory of soft LA-semirings remains largely unexplored. In particular, the structural properties of soft LA-ideals, soft operations, homomorphisms, and congruence relations in the non-associative setting require further investigation.

The aim of this research is to develop the theory of soft left almost semirings by integrating the parameterization of soft sets with the algebraic structure of LA-semirings. The study will first establish the axiomatic foundations of soft LA-semirings and define and characterize different classes of soft LA-ideals. It will then investigate the structural properties of these soft algebraic structures under fundamental operations, including bi-intersection, union, AND, and OR operations, with particular emphasis on the conditions required to preserve the underlying LA-semiring structure. Furthermore, soft LA-semiring homomorphisms will be developed by studying mappings that preserve both addition and multiplication, together with their kernels, images, and associated congruence relations. Analogues of the First, Second, and Third Isomorphism Theorems will also be investigated within the soft LA-semiring framework.

The research will employ precise definitions, algebraic constructions, formal proofs, finite examples, and counterexamples to establish and verify the proposed results. The study is expected to provide a foundational framework for soft LA-semirings and contribute new structural and homomorphic results to the field of non-associative algebra.

Keywords: Soft Sets; Soft Semirings; Left Almost Semirings; LA-Semirings; Soft LA-Semirings; Soft LA-Ideals; Homomorphisms; Congruence Relations; Isomorphism Theorems; Non-Associative Algebra.

STUDY OF PLASMA BEHAVIOUR IN TOKAMAKS: HYDRODYNAMIC AND MAGNETIC EFFECTS

Eddari Ayoub

Université Hassan II de Casablanca

Abstract:

Plasma physics has emerged as one of the most critical fields of modern science, particularly in the context of nuclear fusion, driven by the global demand for clean, safe, and sustainable energy to meet rapid population growth. Unlike nuclear fission, fusion offers a virtually limitless and environmentally friendly energy source.

However, achieving controlled fusion in Tokamak reactors presents significant scientific and technological challenges, primarily due to the complex interplay between hydrodynamic and magnetic forces.

This presentation addresses these key challenges by analyzing plasma as a conducting fluid governed by Magnetohydrodynamics (MHD) equations, which unify the Navier-Stokes equations with Maxwell's equations. By analyzing these coupled hydrodynamic and magnetic effects, we can better predict plasma behavior, instability patterns, and transport phenomena inside the reactor.

Ultimately, understanding and controlling these multiphysics dynamics enables enhanced magnetic confinement time, which is essential for sustaining fusion reactions and achieving energy net gain.

SURVIVAL AND SUSTAINABILITY OF SMALL-SCALE RETAILERS – A STUDY WITH SPECIAL REFERENCE TO KERALA

ROBIN THARIAN

Assistant Professor

Department Of Pg And Research Department Of Commerce

Thiagarajar College,

Madurai

ABSTRACT

Small-scale retailers are one of the vital pillars of the retail sector in Kerala as they provide employment to people, promotes local businesses, contributes to the state's economy, and offers convenience to the customers. However, the organized retail sector, e-commerce, modernization, shifting customer needs and preferences, increasing competition, financial and operational limitations, among others, pose significant challenges to the thriving existence and sustainability of these small-scale retailers. Therefore, the current study aims to provide an insight into those factors which will affect the survival and sustainability of small-scale retailers in Kerala.

Prior studies have highlighted the impact of organized retail, e-commerce, financial constraints, and adaptation strategies on the survival and sustainability of small-scale retailers in Kerala. However, these studies lack a comprehensive view and do not emphasize the combined impact of economic, technology, competitive, infrastructure, and strategic factors on these retail units. Therefore, the current study will fill the research gap by providing a holistic view and explaining the survival and sustainability of small-scale retail units in Kerala.

This study will focus on identifying the major challenges affecting small-scale retailers and their impact on their survival and sustainability. It will further emphasize the impact of competitive landscape, infrastructure, organized retail, customers, technology, and changing market trends on the flourishing existence of these retail units. It also studies the importance of customer relationship and customer loyalty. It will highlight the adaptation strategies, such as digital payment modes, online shopping, diversification, and others, that small-scale retailers follow to counter these challenges. Further, the current study will demonstrate the strategies and measures that can promote the competitiveness, survival, and sustainability of these retail units.

A descriptive and analytical study design will be followed to gather significant insights and conduct a thorough analysis of the current scenario. The proposed study will cover all the small-scale retail outlets across Kerala, including the grocery shops, general stores, apparel shops, and specialty retail stores. Further, a stratified random sampling technique will be adopted, considering the diverse retail landscape and large populations covered by these retail units. A total number of 200 small-scale retailers will be selected on the basis of stratified random sampling to gather primary data through questionnaires and interviews. Besides primary data, secondary data will also be collected from various sources, including research journals, published works, government reports, and publications, to provide empirical evidence and support the current study.

The findings of the current study will benefit the retailers, policy makers, financial institutions, and other relevant stakeholders to chalk out suitable strategies and interventions for the sustainable growth and development of small-scale retailers in Kerala.

Key Terms: Small-Scale Retailers, Retail Sector in Kerala, Retail Sustainability, Retailer Survival, Organized Retail E-Commerce, Competitive Pressure, Customer Loyalty, Customer Relationship Management, Adaptation Strategies, Changing Consumer Preferences, Financial Constraints, Operational Challenges, Infrastructure Retail Competitiveness, Market Trends Retail Innovation, Sustainable Growth.

INTEGRATING DIFFERENTIATION AND INTEGRATION OF PARALETRIX WITH BLOCKCHAIN TECHNOLOGY: THEORETICAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL FRAMEWORKS

Abbas Saleh BAILEY

Department of Industrial Mathematics Karl Kumm University Vom, Plateau State, Nigeria
<https://orcid.org/0009-0000-9481-116X>

Domwen Lohcwat

Department of Industrial Mathematics Karl Kumm University Vom, Plateau State, Nigeria

Daniel Danladi

Department of Industrial Mathematics Karl Kumm University Vom, Plateau State, Nigeria

Monsur Morawo

Department of Mathematics, Federal University, Gashua, Yobe State.

Bailey Saleh

Department of Political Science, University of Maiduguri, Nigeria
ORCIDID- 0000-0002-5401-4382

Abstract

The paraletrix, introduced as a generalization of the rhotrix, provides a flexible parallelogram-structured array whose dimensions need not be equal and which admits well-defined differentiation and integration with respect to an independent variable. In this paper we extend the theory of paraletrices by embedding these calculus operations into the architectural and cryptographic primitives of blockchain systems. We present a formal mapping from paraletrix operations onto on-chain data structures, smart-contract execution models, and zero-knowledge verification schemes. Practical frameworks are developed for representing paraletrices as first-class on-chain objects, for performing element-wise differentiation and integration inside deterministic virtual machines, and for using the heart of a paraletrix as a natural commitment or checksum point. Application domains examined include DeFi derivative pricing and risk aggregation, verifiable cumulative computation in supply-chain ledgers, structured cryptographic key material, and immutable registries of mathematical objects. The resulting framework preserves the algebraic properties established for paraletrices while leveraging blockchain immutability, transparency, and programmable settlement. Open problems concerning gas efficiency, high-dimensional representations, and composability with existing matrix-computation smart-contract schemes are identified.

Keywords: Paraletrix; Rhotrix; Differentiation; Integration; Blockchain; Smart Contracts; Zero-Knowledge Proofs; DeFi; On-chain Computation; Heart of Paraletrix

1. Introduction

Matrices and their generalizations occupy a central place in both pure mathematics and computational systems. The rhotrix, introduced by Ajibade as a rhomboidal array lying between 2×2 and 3×3 matrices, and subsequently extended by Sani and others, demonstrated that non-rectangular yet highly structured arrays can support rich algebraic theories. Building on this lineage, Aminu and Michael, and later Lohcwat, Saleh, Danladi and Peter, introduced the paraletrix: an $m \times n$ parallelogram-structured object (with m, n odd) that need not be square and that admits a natural heart (centre) element together with well-defined differentiation and integration operators.

Independently, blockchain technology has matured from a narrow currency settlement layer into a general-purpose platform for deterministic computation, verifiable state transitions, and programmable assets. Smart-contract environments (Ethereum Virtual Machine, Move, CosmWasm, etc.) already host linear-algebraic routines, albeit under severe constraints of gas cost, determinism, and public verifiability. Recent literature has examined verifiable outsourcing of matrix operations and on-chain matrix verification schemes, yet the more flexible geometric structure of the paraletrix and especially its calculus has remained unexplored in the distributed-ledger setting.

The present work closes that gap. We show that the element-wise differentiation and integration of a paraletrix map naturally onto on-chain storage layouts, that the heart furnishes a computationally cheap integrity anchor, and that the resulting objects can serve both as computational primitives inside smart contracts and as cryptographically committed mathematical artefacts. The contribution is therefore twofold: a theoretical embedding of paraletrix calculus into the model of blockchain state and consensus, and a practical architectural blueprint that can be implemented on existing platforms.

2. Preliminaries: Paraletrix Calculus

2.1 Definition and Structure

Let $m, n \in \{2k+1 : k \in \mathbb{N}\}$. An $m \times n$ -dimensional paraletrix is an array whose entries are arranged in parallelogram fashion and may be written symbolically as

$$P_{m \times n} = \langle a_{ij}, c_{ik} \rangle,$$

where the major matrix $A = (a_{ij})$ and the minor matrix $C = (c_{ik})$ are extracted according to the index ranges given in the source literature. The heart (or centre) of $P_{m \times n}$, when it exists, is the unique element that divides the entries into two equal parts; its positional uniqueness was established by a short contradiction argument.

2.2 Differentiation and Integration

When the entries of $P_{m \times n}$ are differentiable (respectively integrable) functions of a real variable x , the derivative and the indefinite/definite integral are defined element-wise:

$$\begin{aligned} d/dx P_{m \times n}(x) &= \langle d/dx a_{ij}(x), d/dx c_{ik}(x) \rangle, \\ \int P_{m \times n}(x) dx &= \langle \int a_{ij}(x) dx, \int c_{ik}(x) dx \rangle. \end{aligned}$$

Higher-order derivatives follow by iteration. The sum rule and a product rule (for compatible dimensions) hold by direct verification from the element-wise definitions, recovering the classical theorems stated in the original paraletrix calculus paper.

Sum and product rules follow directly from the element-wise definitions, as established in the source paraletrix calculus paper.

Figure 1: Element-wise Differentiation of Sample Paraetrix Entries

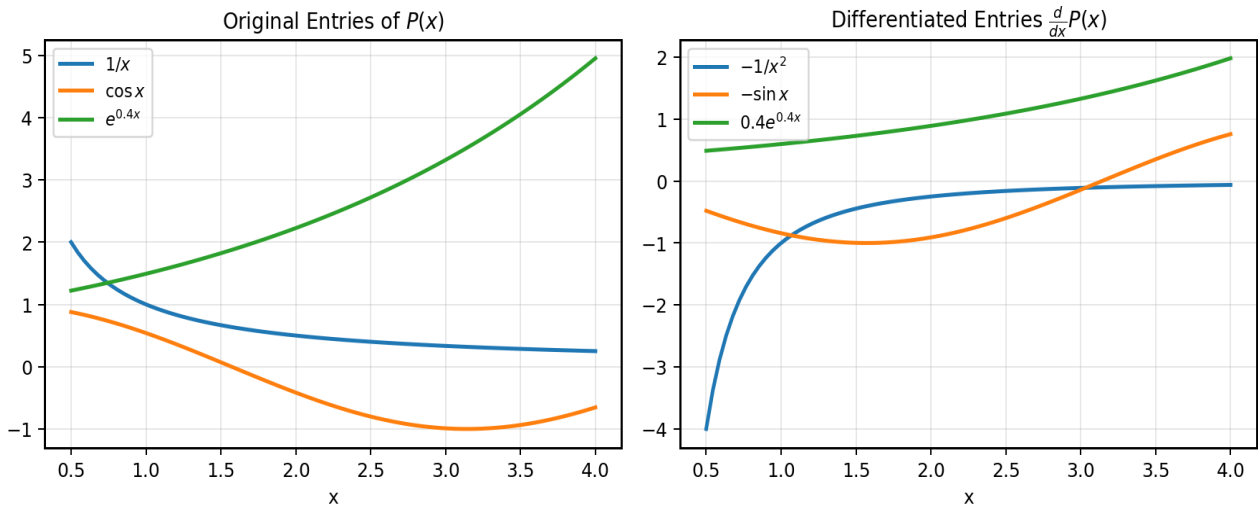


Figure 1. Element-wise differentiation of sample paraetrix entry functions $(1/x, \cos x, e^{0.4x})$.

3. Theoretical Integration with Blockchain Primitives

3.1 On-Chain Representation

A blockchain state may be viewed as a deterministic key-value store subject to consensus. We represent a paraetrix by a structured record containing:

- the pair of odd positive integers (m, n) ;
- a flattened major array and a flattened minor array (or two separate mappings);
- the heart value together with its linear index;
- optional metadata (variable name, domain of differentiation, timestamp of last update).

Because m and n are odd, a unique heart position can be computed once and stored, serving thereafter as a constant-time integrity check: any mutation that alters the heart without a corresponding authorised update is immediately detectable. This yields a lightweight analogue of a Merkle root specialised to the parallelogram geometry.

3.2 Deterministic Calculus Operators

Smart-contract virtual machines require every operation to be deterministic and gas-metered. Element-wise differentiation and integration of rational or polynomial entries can be realised by closed-form arithmetic circuits; transcendental entries (exponentials, trigonometric functions) are handled either by fixed-point approximations with publicly known error bounds or by off-chain evaluation accompanied by a zero-knowledge proof of correct differentiation/integration. In both cases the resulting paraetrix is written back to storage under the same structural invariants, preserving the heart-centred layout.

3.3 Composability and Algebraic Preservation

The sum and product rules for paraetrix derivatives translate directly into composable smart-contract functions. If two paraetrices P and Q of compatible dimension reside on-chain, a third contract may invoke

$$d/dx (P + Q) = dP/dx + dQ/dx, \quad d/dx (P \cdot Q) = P \cdot (dQ/dx) + Q \cdot (dP/dx)$$

without re-deriving the algebraic identities; the identities are inherited from the underlying element-wise calculus and the deterministic execution environment. Consequently, higher-

order financial or physical models expressed as paraletrix differential equations can be stepped forward on-chain under consensus.

Figure 2: Paraletrix–Blockchain integration Architecture

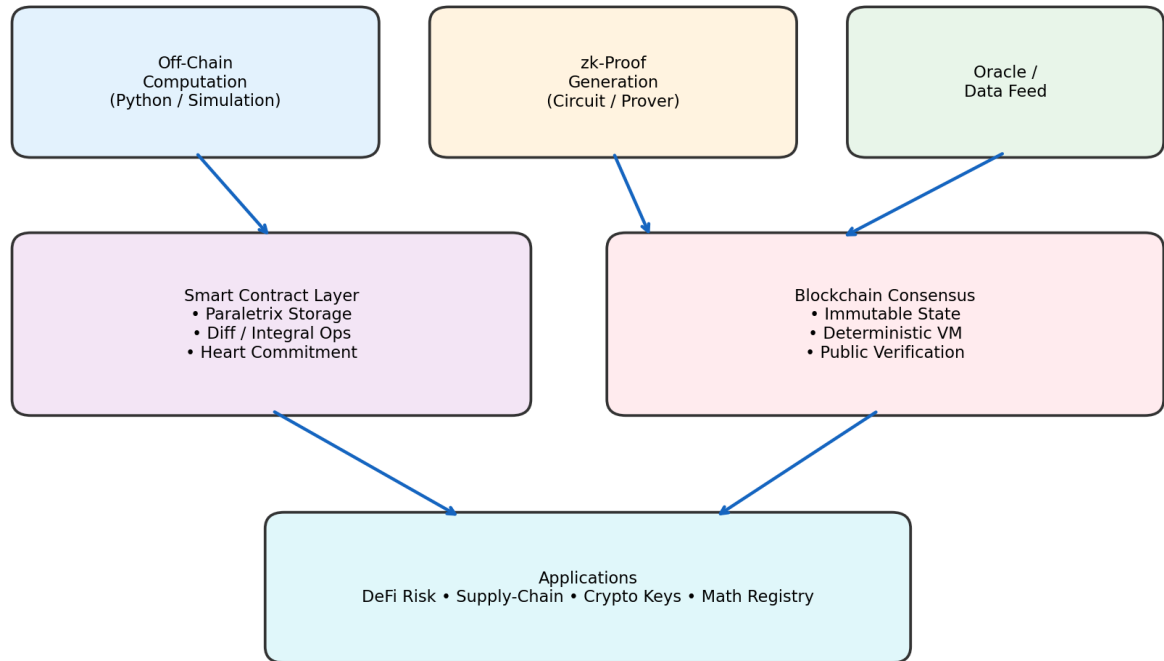


Figure 2. High-level architecture of the Paraletrix–Blockchain integration stack.

Figure 3: Heart as Integrity anchor and On-chain Commitment

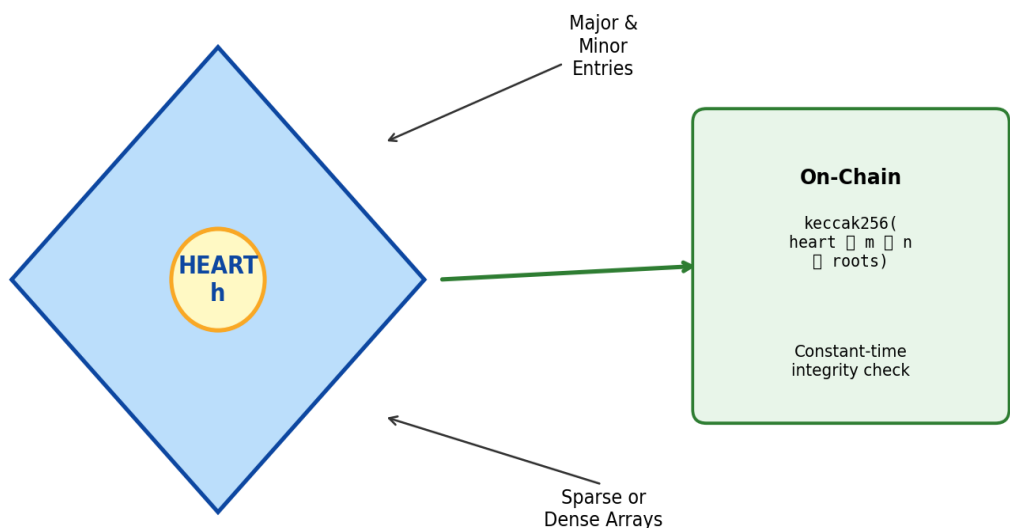


Figure 3. The heart of a paraletrix serves as both geometric centre and on-chain commitment point (keccak256 digest).

4. Practical Framework and Implementation Sketch

4.1 Data Layout and Gas Considerations

On the Ethereum Virtual Machine a natural encoding stores the major and minor arrays in two dynamic arrays (or in a single contiguous byte array with an explicit offset). The heart is kept in its own storage slot for $O(1)$ access. Because storage writes dominate gas cost, updates that affect only a sparse subset of entries should employ a mapping-based sparse representation; dense polynomial or time-series paraletrices may prefer the contiguous layout. Layer-2 rollups and alternative VMs (Move, Solana BPF) reduce the absolute cost and thereby enlarge the feasible dimension.

4.2 Smart-Contract Interface (Pseudocode)

A minimal interface, expressed in a Solidity-like syntax, illustrates the design:

```
struct Paraletrix {
  uint16 m; uint16 n;
  int256[] major; // a_ij flattened
  int256[] minor; // c_ik flattened
  int256 heart;
  uint32 heartIndex;
}
function differentiate(Paraletrix storage P, function(int256) pure returns (int256) d)
  internal returns (Paraletrix memory);
function integrate(Paraletrix storage P, function(int256) pure returns (int256) antideriv)
  internal returns (Paraletrix memory);
function heartCommit(Paraletrix storage P) public view
  returns (bytes32); // keccak256 of heart + dimension
```

The pure functions d and $antideriv$ are supplied either as pre-compiled arithmetic circuits for common function classes or as verified external calls. The `heartCommit` function returns a 32-byte digest usable as a commitment in larger zero-knowledge protocols.

4.3 Zero-Knowledge Verification Layer

When entries are private or when differentiation involves heavy computation, a zk-SNARK or zk-STARK circuit proves that the output paraletrix is the correct element-wise derivative (or integral) of a committed input. The public statement consists of the input commitment, the output commitment, and the claimed operator; the heart of each paraletrix may be exposed in the clear as a public checksum without revealing the remaining entries. This pattern is compatible with existing verifiable matrix-computation schemes while exploiting the additional geometric constraint of the parallelogram layout.

5. Application Domains

5.1 DeFi Risk and Derivative Pricing

A portfolio of instruments whose sensitivities (Greeks) evolve with an underlying factor x can be encoded as a paraletrix-valued function $P(x)$. On-chain differentiation yields instantaneous delta, gamma, etc., while definite integration aggregates exposure over a time interval. Because the heart acts as a compact state fingerprint, risk dashboards and liquidation engines can monitor a single storage slot rather than the entire array, reducing both gas and latency.

5.2 Supply-Chain and IoT Cumulative Ledgers

Sensor grids that produce parallelogram-structured readings (for example, staggered temporal-spatial samples) map directly onto paraletrices. Integration produces cumulative throughput, energy consumption, or quality metrics that are written immutably; differentiation recovers

rates of change for anomaly detection. The resulting ledger is both mathematically structured and cryptographically tamper-evident.

5.3 Cryptographic Key Material and Structured Commitments

Rhotrix algebra has already been employed in AI-assisted key generation for modified Hill ciphers. Paralettrics extend the same idea to non-square dimensions. A key paralettrix whose heart is fixed to a public constant remains invertible under the appropriate multiplication rule, while the remaining entries can be derived from a seed or from an AI model. The heart then serves simultaneously as an algebraic pivot and as a blockchain-visible commitment.

5.4 Immutable Mathematical Registries

Research artefacts example paralettrics, computed derivatives, integration constants can be serialised, hashed, and anchored on-chain. Subsequent claims about algebraic identities become publicly auditable. This use-case is especially attractive for educational and formal-verification communities that require permanent, timestamped records of mathematical objects.

Example paralettrics, computed derivatives and integration constants are serialised, hashed and anchored on-chain. Educational platforms can offer students timestamped, publicly verifiable results. This use-case has low regulatory friction and is ideal for early validation of the overall stack.

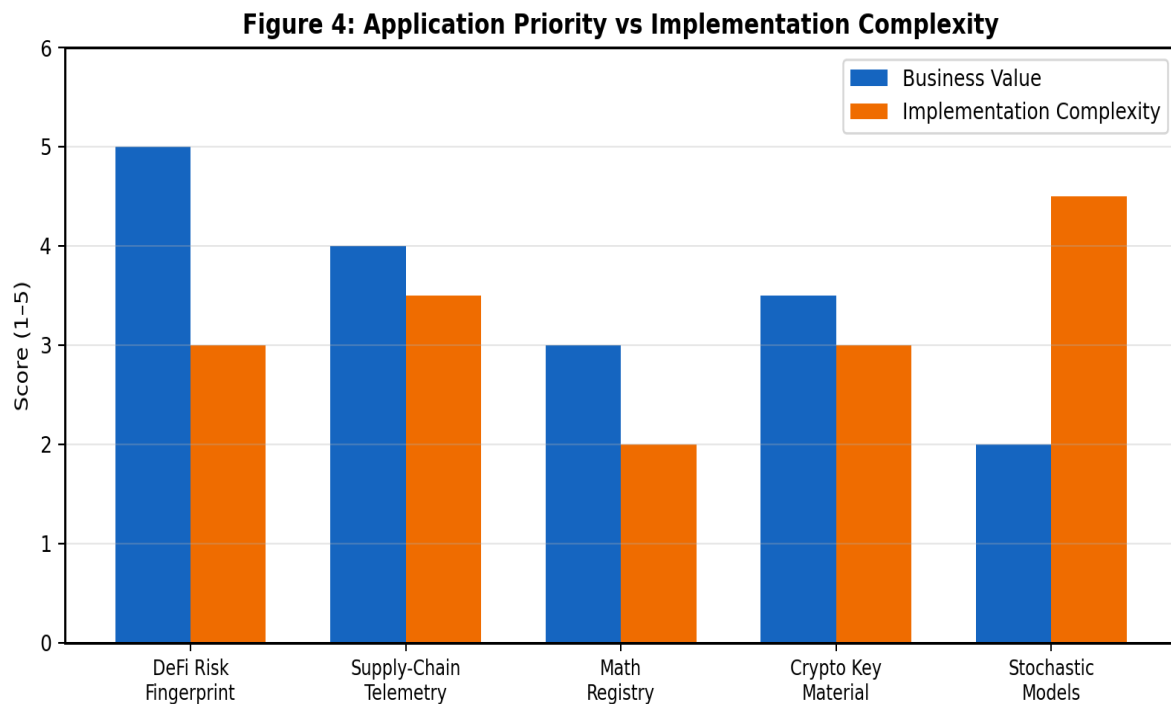


Figure 4. Relative business value versus implementation complexity of the five recommended application domains.

Table 1. Recommended Implementation Priority Roadmap

Priority	Application	Why Start Here	Complexity
1	DeFi Risk Fingerprint	High immediate value, heart-only monitoring	Medium
2	Supply-Chain Telemetry	Natural geometric fit for sensor grids	Medium-High
3	Math Registry / Education	Low regulatory risk, ideal for validation	Low-Medium

4	Crypto Key Material	Builds on existing rhotrix crypto results	Medium
5	Stochastic / SDE Models	Research-heavy, longer horizon	High

Figure 5: Conceptual Gas Cost Scaling with Dimension

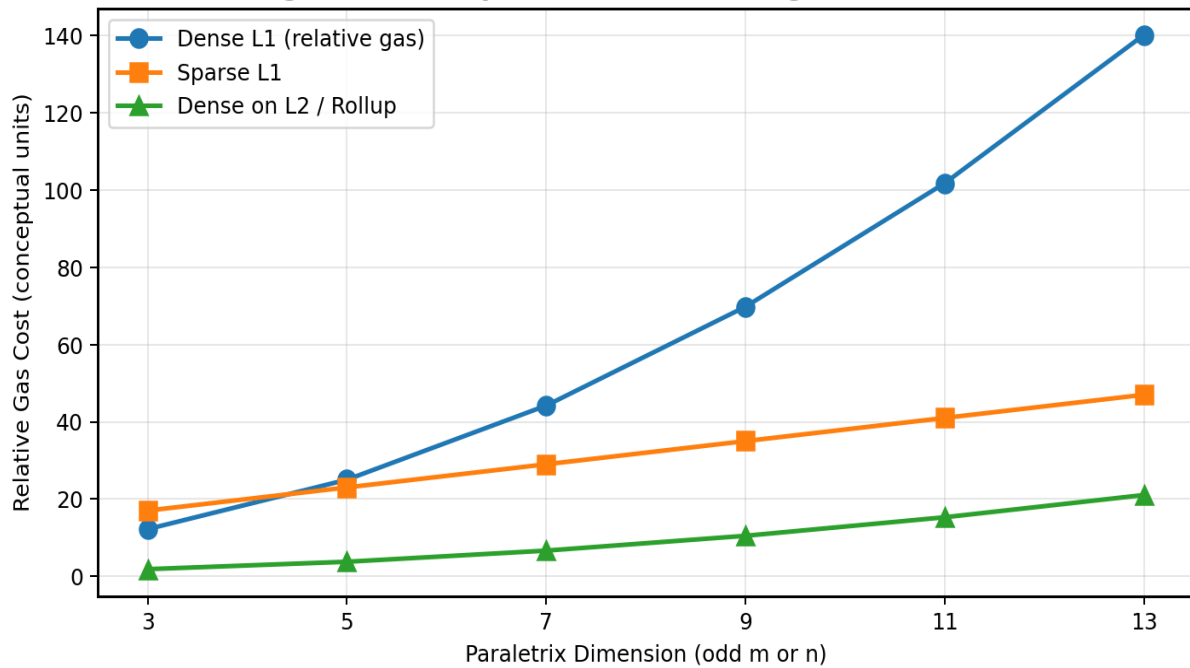


Figure 5. Conceptual relative gas-cost scaling with paraletrix dimension under dense L1, sparse L1 and Layer-2 deployment assumptions.

6. Selected Formal Properties

We record three elementary but useful observations that follow at once from the definitions.

Proposition 1 (Heart preservation under element-wise operators). Let Φ be any element-wise operator (differentiation, integration, or a scalar function applied entry-wise). If P possesses a heart h , then $\Phi(P)$ possesses a heart equal to $\Phi(h)$, located at the same positional index.

Proposition 2 (Deterministic reproducibility). Given an identical paraletrix encoding and identical pure arithmetic circuits, every honest node executing a differentiation or integration transaction obtains a bit-identical result, satisfying the determinism requirement of blockchain consensus.

Proposition 3 (Commitment binding). The digest $H = \text{keccak256}(\text{heart} \parallel m \parallel n \parallel \text{majorRoot} \parallel \text{minorRoot})$ binds the entire paraletrix: any alteration of an entry changes either the heart or one of the array roots, and is therefore detected by a constant-time comparison of H .

7. Challenges and Open Directions

Gas cost remains the principal obstacle for dense high-dimensional paraletrices on Layer-1 Ethereum; optimistic and zero-knowledge rollups mitigate but do not eliminate the issue. Recommended quick-start sequence: (1) Python prototype of paraletrix class + differentiation/integration + heart commitment; (2) port heart-monitoring logic to a testnet; (3) add a simple zk-circuit proving correct element-wise differentiation; (4) pilot one application domain (preferably the mathematical registry or DeFi fingerprint). Formal verification of the

smart-contract library in a proof assistant is a longer-term assurance goal. Efficient sparse representations and circuit-friendly encodings of common function classes (polynomials, exponentials of linear forms) constitute immediate engineering targets. Extending the theory to stochastic paralettrics or to paralettrix-valued stochastic differential equations would open further DeFi and insurance applications. Finally, a formal verification of the smart-contract library in a proof assistant (Coq, Lean, or Isabelle) would raise assurance to the level expected of high-value financial infrastructure.

8. Conclusion

We have shown that the differentiation and integration operators defined on paralettrics admit a coherent and practical embedding into blockchain systems. The geometric heart supplies a natural integrity anchor, element-wise calculus maps onto deterministic virtual-machine instructions or zero-knowledge circuits, and the resulting objects support concrete applications in decentralised finance, supply-chain telemetry, cryptography, and mathematical archival. The framework inherits the algebraic theorems of the original paralettrix calculus while adding the durability, transparency, and programmable settlement guarantees of distributed ledgers. Future work will focus on optimised implementations, formal verification, and the exploration of stochastic and higher-order paralettrix dynamics on-chain.

9. References

- [1] K. T. Atanassov and A. G. Shannon, “Matrix-tertions and matrix-noitrets: exercises in mathematical enrichment,” *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, vol. 29, pp. 898–903, 1998.
- [2] A. O. Ajibade, “The concept of rhotrix in mathematical enrichment,” *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, vol. 34, pp. 175–179, 2003.
- [3] B. Sani, “An alternative method for multiplication of rhotrices,” *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, vol. 35, pp. 777–781, 2004.
- [4] B. Sani, “The row-column multiplication for high dimensional rhotrices,” *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, vol. 38, pp. 657–662, 2007.
- [5] A. Aminu and O. Michael, “An introduction to the concept of paralettrix, a generalization of rhotrix,” *Afrika Matematika*, vol. 26, pp. 871–885, 2015.
- [6] D. Lohcwat, A. B. Saleh, D. Danladi and P. P. Peter, “The Concept of Differentiation and Integration of Paralettrix: A Generalization of Rhotrix,” *Mikailalsys Journal of Advanced Engineering International*, vol. 2, no. 3, pp. 350–358, 2025. DOI: 10.58578/MJAEI.v2i3.6807.
- [7] A. Priya B, P. Gnanachandra and M. Seenivasan, “AI-Driven Innovations in Cryptography: Enhancing Key Generation and Security,” *E3S Web of Conferences*, vol. 399, 08001, 2023.
- [8] Research on verifiable EVM-based matrix calculation schemes for smart contracts, *Digital Communications and Networks*, 2025.
- [9] Publicly verifiable outsourcing matrix computation based on smart contracts, *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2024.
- [10] S. Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,” 2008.
- [11] V. Buterin et al., *Ethereum Yellow Paper* (various editions).
- [12] J. Ben-Sasson et al., works on zk-SNARKs and scalable zero-knowledge proof systems.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS IMPACT ON BUSINESS AND SOCIETY**Md Iqbal Hossain****Md Bani Amin****Aspiya Akter***Department of Management, Information Technology, St. Francis College, Brooklyn, New York, USA***Rakib Ul Hasan***Department of Computer Science and Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh***Abstract**

The rapid development of intelligent products and services has increased the commercial availability of artificial intelligence and its influence on society and the global economy. This development has raised questions about whether the current growth of artificial intelligence represents a temporary trend or a technology capable of creating lasting global transformation. This paper examines the broad implications of artificial intelligence and considers both its positive and negative effects on governments community's businesses and individuals. The study explores the development of artificial intelligence from research and innovation to practical implementation. It also examines major academic achievements and technological innovations and their influence on entrepreneurship and global markets. In addition, the study investigates the factors that have contributed to the rapid advancement of artificial intelligence. Entrepreneurial activity in the artificial intelligence sector is examined using two lists of the top 100 artificial intelligence startups. The findings provide a broader understanding of technological innovation and the effects of artificial intelligence on businesses and society. The study also highlights how artificial intelligence may reshape business operations and contribute to changes in the global economy.

Keywords: Artificial intelligence; Technological innovation; Entrepreneurship; Business transformation; Global economy

AUTOMATING HEALTHCARE DELIVERY: THE IMPLEMENTATION OF A DIGITAL HEALTH RECORD AND PATIENT MANAGEMENT SYSTEM FOR UNIVERSITY HEALTH CENTRES

Asun David Great

Dr. Akanbi Bello Mohammed

University Of Abuja Faculty Of Science Department Of Computer Science

ABSTRACT

The increasing number of students seeking healthcare services at university health centres continues to place pressure on existing healthcare delivery processes, exposing challenges in the management of patient records and healthcare services. At many university health centres, patient information is still recorded and managed through paper-based or fragmented processes. These practices can result in delayed retrieval of patient records, loss or duplication of information, difficulty tracking patient medical history, long waiting times, and limited access to accurate patient information when making healthcare decisions.

This project presents the design and implementation of a Digital Health Record and Patient Management System for University Health Centres. The system is designed to improve healthcare delivery by providing a centralized, web-based platform for managing patient information and healthcare activities. It enables authorized healthcare personnel to register patients, maintain digital health records, record consultations and diagnoses, manage prescriptions, track patient medical history, and retrieve patient information efficiently. The system also supports appointment management and provides appropriate access controls to protect sensitive patient information.

The system was developed using an appropriate software development methodology, with a relational database used to store and manage patient records and a web-based interface used to provide access to authorized users. Data for the study was obtained through direct observation of healthcare centre operations and a review of relevant literature on digital health records and patient management systems. The system was evaluated through functional and system testing to determine whether its major components performed according to the specified requirements. The implementation of the proposed system provides a more organized and efficient approach to patient record management and healthcare delivery within university health centres. By replacing fragmented record-keeping processes with a centralized digital system, the system improves the accessibility, accuracy, and management of patient information while reducing delays associated with manual record retrieval. The project demonstrates how digital health record technology can support more efficient healthcare administration and improve the overall management of healthcare services in university environments.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CANCER DIAGNOSIS AND PROGNOSIS

Sanjida Nousin
Rafsun Rahman
Md Norim Bhuyan
Md Nasir Uddin

Department of Management, Healthcare Management, St. Francis College, Brooklyn, New York, USA

Sajib Hasan

Department of Public Health, Jahangir Nagar University, Savar, Bangladesh

Abstract

Cancer is a serious disease associated with high mortality and frequent recurrence. Its treatment often requires long term care and substantial financial resources. Early and accurate diagnosis together with reliable prognosis prediction is important for improving patient survival and treatment outcomes. Advances in statistics and computer engineering have enabled researchers to use computational approaches such as multivariate statistical analysis for cancer prognosis assessment. These approaches can provide more reliable predictions than traditional empirical methods. In recent years' artificial intelligence especially machine learning and deep learning has become increasingly important in cancer research and has improved the accuracy of disease diagnosis and prognosis prediction. This article reviews recent studies on the use of artificial intelligence for cancer diagnosis and prognosis and examines its major advantages. The review focuses on how artificial intelligence can support clinical decision making through highly accurate analysis of complex medical data. It also discusses how these technologies are contributing to advances in cancer research and clinical care. Finally, the major opportunities and challenges associated with the clinical implementation of artificial intelligence are considered. This review provides an updated perspective on the potential of artificial intelligence to improve cancer diagnosis and prognosis and support better healthcare outcomes.

Keywords: Artificial intelligence; Cancer diagnosis; Cancer prognosis; Machine learning; Deep learning

NUTRITIONAL AND ANTI-NUTRITIONAL EVALUATION OF LOCALLY FORMULATED COMPLEMENTARY FOODS FROM MILLET, SOYBEAN, GROUNDNUT AND SORGHUM FOR ENHANCED INFANT NUTRITION

**Ahmad Sulaiman Musa
Rukayya Gambo Lawal
Dr. A.I. Yar'adua
Dr. Akilu Abdullahi Sada
Dr. Aminu Usman
Dr. Zainab Suleiman**

Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'adua University, Katsina, Nigeria

Abstract

Inadequate nutrient intake during the complementary feeding period remains an important nutritional challenge among infants and young children, particularly in resource-limited communities. Locally available cereals and legumes may provide affordable alternatives to commercial complementary foods when appropriately combined and processed. This study evaluated the nutritional quality and anti-nutritional composition of complementary food formulations developed from millet, soybean, groundnut and sorghum. Millet, soybean, groundnut and sorghum were selected as locally available food ingredients and processed and combined at different proportions to develop complementary food formulations. The raw materials and formulated diets were evaluated for proximate composition, including moisture, ash, crude protein, crude lipid, crude fibre and carbohydrate. Selected mineral elements, including calcium, magnesium, potassium, iron, zinc and copper, were also determined. Anti-nutritional factors, particularly phytate, tannin and oxalate, were evaluated in the food staples and formulated diets. The effect of processing and formulation on the nutritional characteristics of the resulting complementary foods was assessed. The findings demonstrated that the selected cereals and legumes provided important sources of macronutrients and minerals. Incorporation of soybean and groundnut into the formulations was associated with increased protein and lipid contents, while millet and sorghum contributed substantially to the carbohydrate component. The formulated complementary diets generally demonstrated improved nutritional profiles compared with individual cereal-based ingredients. Although anti-nutritional factors were detected, their levels in the formulated diets were generally low. Processing was associated with reductions in phytate, tannin and oxalate, which may enhance the nutritional utilization of essential nutrients. The findings indicate that appropriately formulated combinations of millet, soybean, groundnut and sorghum have considerable potential as locally sourced complementary foods. Strategic blending of cereals and legumes, together with appropriate processing, can improve the nutritional quality of complementary diets while reducing anti-nutritional factors. Such formulations may contribute to affordable and culturally appropriate approaches to improving infant nutrition and reducing the risk of protein-energy and micronutrient malnutrition.

Keywords: Millet, soybeans, groundnut, sorghum, anti-nutritional factors; micronutrients.

A MULTIFUNCTIONAL GREEN NANOPLATFOM FOR DENTAL BIOFILM CONTROL

Monisha S

Ranjani Soundhararajan

School of Life Sciences, B.S. Abdur Rahman Crescent Institute of Science and Technology,
Vandalur, Chennai, Tamil Nadu, India.

Abstract: The rising occurrence of antibiotic-resistant and biofilm-producing dental pathogens calls for new antimicrobial solutions. Here, a novel titanium nanomaterial was created using a traditional herbal extract via an eco-friendly green synthesis method for potential use in oral healthcare. Its antibacterial and antibiofilm properties were tested against *Staphylococcus epidermidis*, a common oral pathogen linked to biofilm formation and infections. The nanomaterial was characterized with techniques such as UV–Visible spectroscopy, FTIR, FESEM, EDAX, XRD, HRTEM, TGA, DLS, and zeta potential analysis. Antibacterial effectiveness was evaluated through agar diffusion, MIC, MBC, and time-kill tests, confirming strong bactericidal activity. Cell viability was checked with the resazurin assay, and membrane integrity was assessed via leakage of proteins, sugars, and nucleic acids. The antibacterial mechanism involved measuring ROS production and markers of oxidative stress, like GSH, SOD, CAT, and MDA. Overall, these results show the green-made titanium nanomaterial has strong antibacterial and antibiofilm effects by inducing oxidative stress and damaging membranes, suggesting its potential as a nanotherapeutic agent for treating biofilm-related oral infections.

Keywords: Green Nanotechnology, Dental pathogen, ROS, Biofilm

ARENE LIGAND ENGINEERING IN CHROMIUM HALF-SANDWICH COMPLEXES TOWARD ENHANCED DYE-SENSITIZED SOLAR CELL PERFORMANCE

Said Kerraj

Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials, Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University of Casablanca, B.P.7955, Bd Cdt Driss El Harti, Casablanca, Morocco.

Mohamed elmamouni

Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials, Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University of Casablanca, B.P.7955, Bd Cdt Driss El Harti, Casablanca, Morocco.

Mohamed Moussaoui

Chemical and Biochemical Sciences-Green Processing Engineering, Mohammed VI Polytechnic University, Ben Guerir, Morocco.

ABSTRACT

This work investigates the influence of arene-ligand functionalization on the photovoltaic properties of half-sandwich chromium complexes of the general formula $(\eta^6\text{-C}_6\text{H}_5\text{X})\text{Cr}(\text{CO})_3$. Seven functionalized derivatives were theoretically examined as potential sensitizers for dye-sensitized solar cells (DSSCs) using density functional theory (DFT) and time-dependent density functional theory (TD-DFT). Ground- and excited-state properties were calculated at the B3LYP/6-31G/SDD level. The photovoltaic performance of the complexes was assessed through key descriptors, including the maximum absorption wavelength (λ_{max}), light-harvesting efficiency (LHE), electron-injection driving force (ΔG_{inj}), dye-regeneration driving force (ΔG_{reg}), and open-circuit voltage (V_{OC}). The calculated results demonstrate that structural modification of the arene ligand significantly affects the electronic, optical, and charge-transfer characteristics of the chromium complexes. Among the investigated compounds, DA, DB, DD, DF, and DG displayed the most favorable combination of photovoltaic parameters, indicating their potential as sensitizers for DSSC applications. Overall, these findings demonstrate the usefulness of DFT and TD-DFT approaches for predicting structure–property relationships and guiding the rational design of new organometallic sensitizers for solar-energy conversion.

Keywords: half sandwich chromium; DSSCs; optoelectronic; photovoltaic characteristics and DFT/ TD-DFT.

THE IMPACT OF LECTURE TRANSCRIPTION AND SEARCH SYSTEMS ON ACADEMIC INFORMATION RETRIEVAL IN TERTIARY INSTITUTIONS

Alozie Victoria Chika

Department of computer science, Faculty of Science, University of
Abuja, FCT, Nigeria

Akanbi, Bello Muhammed PhD

Department of Computer Science, University of Abuja, FCT, Nigeria

ABSTRACT

This study focuses on the increasing use of recorded lectures in the tertiary institutions which has provided students with valuable opportunities to revisit academic content beyond the classroom. However locating specific information within lengthy lecture recordings can be difficult and time consuming. And students who are deaf or hard of hearing are not able to access Recorded lectures. This study examines the impact of lecture transcription and search systems on academic information retrieval in tertiary institutions. The study adopts a qualitative literature review methodology, drawing on existing academic and industry sources related to lecture transcription, automatic speech recognition, and information retrieval systems, with particular attention to accessibility, usability and transcription accuracy. It focuses on exploring how features such as **searchable text, keyword search, topic organization , and timestamp navigation** can help students quickly locate and revisit relevant content while also supporting learners with special access needs (hard of hearing or deaf) The Study highlights the potential of these systems to make academic content more accessible, searchable and useful.

keywords: Lecture Transcription, Academic information Retrieval, Automatic Speech Recognition, searchable text, tertiary institutions.

CORROSION PROTECTION PERFORMANCE OF *BAMBUSA VULGARIS* EXTRACT FOR MILD STEEL IN 1M H₂SO₄. MEDIUM

ESAN^{a*}, T. O.
Pii, B. T Ajibulu K. E
Adebayo L. O

Department of Chemical sciences, Bamidele Olumilua University of Education,
Science and Technology, Ikere,- Ekiti, Ekiti State, Nigeria

Abstract:

Corrosion of mild steel in acidic environments remains a high challenge in industry, leading to significant financial losses, structural degradation, and ecological risks. The introduction of Green-based corrosion mitigators have attracted increasing recognition as a sustainable alternative to synthetic chemicals. *Bambusa Vulgaris* leaf extract was selected as a potential bio-based mitigators due to its rich phytogetic composition and eco-friendly nature.

The extract was prepared using ethanol and applied at concentrations varying from 0.2 to 1.0 g/l. Corrosion behaviour was assessed using the gravimetric method, specifically the weight-loss technique, to determine corrosion rate and inhibition efficiency. Surface characterization was performed using (SEM), Electron Scanning Microscope X-ray Energy-Dispersive Spectroscopy (EDX), and (FTIR) Infrared Fourier Transform Spectroscopy to evaluate film formation and identify functional groups involved in adsorption.

The study found that inhibition efficiency was enhanced with higher extract concentration, achieving a maximum of approximately 76% at 1.0 g/L, while the corrosion rate decreased accordingly. A slight decline in performance at elevated temperatures indicated predominantly physical adsorption of the phytochemical constituents. EDX and SEM analyses confirmed the development of a adsorbed protective layer, and FTIR spectra revealed oxygen containing functional groups (C=O, -OH, and C-O) accounting for adsorption.

The findings demonstrated that *Bambusa Vulgaris* leaf act as an efficient environmentally friendly and safe corrosion inhibitor for mild steel under acidic condition. Its performance highlight its potential as economical option for control of corrosion in line with green chemistry principles.

Keyword: Corrosion, Corrosion mitigation agents, Low carbon mild Steel, Sulfuric Acid (H₂SO₄), Phytochemicals:, (*Bambusa Vulgaris*).

ULTRA-PROCESSED FOODS AND THE EROSION OF TRADITIONAL DIETARY PATTERNS IN MOROCCO: IMPLICATIONS FOR NUTRITION TRANSITION AND PUBLIC HEALTH

Sanaa El-Jamal

Laboratory of Anthropogenetics, Biotechnologies and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco

Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Casablanca, Morocco

Houda Elfane

Laboratory of Anthropogenetics, Biotechnologies and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco

Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Casablanca, Morocco

Imane Barakat

Laboratory of Anthropogenetics, Biotechnologies and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco

Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Marrakesh, Morocco

Rekia Belahsen

Laboratory of Anthropogenetics, Biotechnologies and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco

Abstract

Morocco is currently experiencing a rapid nutrition transition driven by urbanization, changing lifestyles, and the growing availability of industrially processed food products. In this context, ultra-processed foods (UPFs) are increasingly replacing traditional dietary practices based on home-prepared meals, cereals, legumes, olive oil, and fresh foods. This shift is particularly concerning in a country facing the double burden of malnutrition, where persistent micronutrient deficiencies coexist with rising rates of overweight, obesity, and diet-related non-communicable diseases (NCDs).

This paper explores the role of UPFs in the gradual erosion of traditional dietary patterns in Morocco and discusses the implications for public health and nutrition policy. A narrative review was conducted using peer-reviewed literature published between 2019 and 2025. Relevant studies were identified through targeted searches using keywords related to ultra-processed foods, nutrition transition, obesity, dietary patterns, and public health, with particular attention to evidence from Morocco, North Africa, and other middle-income settings. The reviewed evidence consistently shows that high UPF consumption is associated with poorer diet quality, including higher intakes of added sugars, sodium, and unhealthy fats, together with lower fiber and micronutrient density. In Morocco, this dietary shift appears to occur alongside declining adherence to traditional Mediterranean-type dietary patterns and a growing burden of obesity and chronic disease, especially in urban populations. It is also shaped by broader changes in the food environment, including supermarket expansion, aggressive food marketing, time constraints, and the spread of globalized dietary norms. Beyond their nutritional profile, UPFs may also weaken the cultural and social value traditionally associated with shared meals and home cooking.

In conclusion, UPFs in Morocco should not be viewed solely as individual food choices, but rather as part of a broader transformation of food systems and dietary practices. Addressing this

challenge requires integrated strategies that combine nutrition education, food literacy, front-of-pack labeling, regulation of food marketing, and stronger support for healthy, culturally relevant, minimally processed diets.

Keywords: Ultra-processed foods; nutrition transition; traditional dietary patterns; Morocco; public health

COMPOST BASED ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE

Poonam

Indira Gandhi University, Research Scholar, Department of Physics Rewari, Haryana, India

Dr. Sunil Kumar

Indira Gandhi University

Department of Physics,

ORCID ID 0000-0002-1658-5555 Rewari, Haryana, India

Abstract

The increasing demand for sustainable and low-cost energy-storage technologies has encouraged the exploration of biomass-Based materials as alternative functional materials. Compost, generated from plant and animal waste, represents an abundant and environmentally friendly resource that can be valorised for electrochemical applications. The present research focuses on the development and investigation of **compost-based electrochemical energy-storage** using a symmetric two-electrode configuration. Different compost samples with varying C:N ratios are investigated using Graphite, Copper and Inconel as current collectors. The influence of different electrolytes, including DI water, KCl, KNO₃ and KOH, at different concentrations is systematically studied to understand their effect on charge-storage behaviour. The electrochemical performance of the developed devices is evaluated using **Cyclic Voltammetry (CV)**, **Galvanostatic Charge–Discharge (GCD)**, and **Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)**. The charge-storage mechanism is further examined by analysing the capacitive and Faradaic contributions, while impedance analysis is used to evaluate internal resistance, charge-transfer processes and ion-diffusion behaviour.

EFFECT OF *ASPERGILLUS NIGER* FERMENTATION ON ANTI-NUTRITIONAL FACTORS OF MILLET (*PENNISETUM GLAUCUM*) STALK

Maryam Halliru Idris
Aliyu Ibrahim Yaradua
Hadiza Kabir Matazu
Hafsat Nasir Nayaya

Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'adua University, Katsina, Nigeria

ABSTRACT

Millet (*Pennisetum glaucum*) stalk is a widely available agricultural residue with potential as an alternative livestock feed resource. However, its utilization is constrained by inherent anti-nutritional factors that impair nutrient bioavailability and compromise feed safety. Biological detoxification through fungal fermentation has been proposed as a low-cost, environmentally sustainable strategy to overcome this limitation, yet its efficacy on millet stalk specifically remains underexplored. This study evaluated the effect of solid-state fermentation with *Aspergillus Niger* on the concentrations of selected anti-nutritional factors phytate, hydrocyanic/bromide-reactive compounds (Hmg/br), protease inhibitor (P.inlib), oxalate, and lectin in millet stalk. Millet stalk substrate was subjected to solid-state fermentation with *A. niger* under controlled temperature and moisture conditions. Anti-nutritional factor concentrations were quantified before and after fermentation using standard analytical procedures, and paired t-tests were used to assess the statistical significance of observed changes ($\alpha = 0.05$). Fermentation produced marked reductions across all measured anti-nutritional factors. Phytate declined from 2.42 ± 0.12 to 1.13 ± 0.08 mg/100 g ($t = 18.78$, $p = 0.034$), P.inlib from 1.91 ± 0.21 to 0.64 ± 0.18 mg/100 g ($t = 16.27$, $p = 0.041$), and oxalate from 31.25 ± 2.58 to 21.38 ± 1.92 mg/100 g ($t = 92.15$, $p = 0.026$), all representing statistically significant reductions. Hmg/br decreased from 1.88 ± 0.15 to 1.70 ± 1.21 mg/100 g ($p = 0.056$), and lectin, initially 1.02 ± 0.08 mg/100 g, became undetectable post-fermentation ($p = 0.054$); both changes approached but did not reach statistical significance at $p < 0.05$. *A. niger* solid-state fermentation substantially reduced key anti-nutritional factors in millet stalk, with the most pronounced and statistically significant effects observed for phytate, protease inhibitor, and oxalate. These findings support fungal fermentation as a viable bioprocessing strategy to enhance the nutritional quality and safety of millet stalk, offering a sustainable pathway for valorizing agricultural residues into functional livestock feed.

Keywords: *Aspergillus niger*; *Pennisetum glaucum*; millet stalk; solid-state fermentation; anti-nutritional factors; phytate; oxalate; livestock feed.

MACHINE LEARNING FOR AUTOMATED EARLY DETECTION OF ALZHEIMER'S DISEASE USING MULTIMODAL BRAIN IMAGING DATA

A. Sivagayathri
R. Srividhya
A. Vivekanandhan
Dr. R. Sudha

Department of Computer Science and Engineering, AVC College of Engineering, Tamil Nadu, India

Abstract

Alzheimer's disease is a major global healthcare challenge. Early detection is critical for effective patient care. However, manual reading of neuroimaging data is slow. It also introduces high subjective variation among doctors. This study presents a clear machine learning framework. The system offers fully automated, early-stage disease detection. We developed a novel hybrid deep learning architecture. This convolutional neural network analyzes structural brain scans. We used large public neuroimaging data repositories. The dataset contained three-dimensional structural magnetic resonance images. The framework integrates automated volumetric brain measurements. It pairs structural biomarkers with clinical cognitive test scores. Data preprocessing involved noise reduction and intensity normalization. Spatial alignment mapped all images to a uniform template. The algorithm automatically classifies patients into distinct diagnostic categories. These groups include cognitively normal, mild impairment, and advanced stages. Our optimized framework achieved a final classification accuracy of 95.4%. It demonstrated high sensitivity during early cognitive decline phases. Gradient-weighted class activation mapping successfully highlighted structural alterations. The model revealed localized tissue atrophy within the hippocampal formations. This anatomical degeneration directly relates to the observed cognitive deficits. The automated system lowers clinical radiological evaluation times by 75%. It minimizes diagnostic subjectivity in busy hospital settings. This research delivers a highly scalable diagnostic computer vision tool. It provides clinicians with rapid, objective data insights. The application supports prompt clinical choices and early therapy management. It sets a reliable baseline for long-term patient tracking.

Keywords: Machine Learning, Alzheimer's Disease, Deep Learning Framework, Multimodal Neuroimaging, Hippocampal Atrophy, Automated Early Screening

EFFECTS OF ZOOM-TEACHING MODE ON JUNIOR SECONDARY TWO STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS BASIC SCIENCE AND TECHNOLOGY IN JOS SOUTH, PLATEAU STATE, NIGERIA

Gongden Esther Ephraim

Abifarin S. Micheal

Ozaji E. Bernadette

Department of Science and Technology Education,
Faculty of Education, University of Jos

ABSTRACT

This study investigated the effects of Zoom-Teaching Mode on Junior Secondary II students' attitude towards Basic Science and Technology in Jos South Local Government Area of Plateau State, Nigeria. The study was guided by two research questions and two null hypotheses tested at the 0.05 level of significance. A quasi-experimental research design, specifically the non-equivalent pre-test and post-test control group design, was adopted. The population comprised all Junior Secondary II male and female students in the 20 public junior secondary schools in Jos South Local Government Area, Plateau State, Nigeria. A sample of 111 students from two intact classes in two purposively selected public junior secondary schools was used for the study. The experimental group was taught using Zoom-Teaching Mode, while the control group was taught using the conventional lecture method. Data were collected using the Basic Science and Technology Attitude Scale (BSTAS), which was validated by three experts. The reliability of the instrument was established using Cronbach's Alpha, which yielded a coefficient of 0.948. 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 findings revealed that students exposed to Zoom-Teaching Mode had a higher post-test mean attitude score than those taught using the conventional lecture method. The findings also showed that there was no significant difference between the post-test attitude mean scores of male and female students exposed to Zoom-Teaching Mode. However, a significant effect of Zoom-Teaching Mode on students' attitude towards Basic Science and Technology was established. Based on these findings, it was concluded that Zoom-Teaching Mode is an effective instructional approach for improving students' attitude towards Basic Science and Technology. It was recommended, among others, that Basic Science and Technology teachers should integrate Zoom-Teaching Mode into classroom instruction to promote positive attitudes towards the subject, while educational authorities should provide the necessary technological infrastructure and training to facilitate its effective implementation.

Keywords: Zoom-Teaching Mode, students' attitude, gender, Basic Science and Technology.

INTRODUCTION

Education is universally recognized as the cornerstone of national development, serving as the primary mechanism through which societies transmit knowledge, cultivate competence, and produce the human capital necessary for sustained growth. In contemporary Nigeria, education occupies a central position in national policy, with the Federal Republic of Nigeria (2019) affirming that education is an instrument *par excellence* for achieving the social, economic, and

technological aspirations of the nation. A well-structured educational system equips citizens with the cognitive tools and technical proficiencies required to drive industrial productivity, stimulate innovation, and participate meaningfully in an increasingly digitalised global economy. Nations that have strategically invested in their educational systems, particularly in science and technology education, have consistently demonstrated accelerated economic transformation, reduced poverty indices, and enhanced global competitiveness. It is within this overarching framework that the quality of teaching and learning at every educational tier, from primary through tertiary, becomes a matter of critical national concern.

The Junior Secondary School (JSS) curriculum occupies a uniquely strategic position within Nigeria's educational architecture, serving as the bridge between foundational literacy acquired at the primary level and the specialized scientific and technological pathways pursued at the senior secondary and tertiary levels. At the JSS level, learners are systematically introduced to the conceptual, procedural, and attitudinal dimensions of science and technology, and it is at this formative stage that the trajectory of a student's academic and career orientation is often decisively shaped. The National Curriculum for Junior Secondary Schools is deliberately designed to cultivate curiosity, logical reasoning, and practical skills, thereby ensuring that students are adequately prepared to engage with more specialized disciplines in subsequent years (Gongden, 2022). A critical component of the JSS curriculum is Basic Science and Technology (BST), an integrated subject purposefully designed to instill scientific literacy, critical thinking, and problem-solving competencies in young learners. Manabete and Yusuf Ughili (2025) defined Basic Science and Technology as a foundational educational subject that integrates core scientific knowledge and technological principles, explicitly aiming to equip junior secondary school students with the analytical skills needed to understand, investigate, and interact productively with their natural and technological environments. As an integrated discipline, BST encompasses content drawn from Biology, Chemistry, Physics, and applied technology, thereby exposing students simultaneously to abstract scientific reasoning and its practical, real-world applications.

The Basic Science and Technology promote guided inquiry and activity-based learning, encouraging learners to observe, hypothesize, experiment, and draw conclusions-cognitive processes that are foundational to scientific literacy. Beyond content knowledge, the Basic Science and Technology is structured to cultivate in students a disposition of curiosity and analytical rigour, attributes that are essential not only for academic progression but also for the development of an innovative and technologically capable citizenry in Nigeria. Despite the acknowledged importance of BST, empirical evidence consistently indicates a pattern of declining attitude among Junior Secondary Two students towards the subject in Jos South Local Government Area of Plateau State. Attitude, as conceptualized by Serhan (2020), refers to a psychological tendency expressed by evaluating a particular entity, such as a school subject, with some degree of favour or disfavour, and is constituted by three interrelated components: the cognitive element (beliefs and knowledge about the subject), the affective element (emotional responses to the subject), and the behavioural element (the tendency to act positively or negatively towards the subject).

When students hold negative cognitive beliefs about Basic Science and Technology, perceiving it as too abstract, irrelevant, or beyond their capacity, these beliefs often generate negative affect, manifesting as anxiety, boredom, or disengagement during classroom instruction. Several factors have been identified as contributing to declining attitude towards Basic Science and Technology among Junior Secondary Two students in Jos South, including large class sizes

that impede individualized instruction, the abstract and conceptually dense nature of certain Basic Science and Technology topics, a scarcity of relevant instructional materials and functional laboratory equipment, and the predominant use of conventional lecture-based teaching methods that fail to stimulate learner desire or engagement. Despite the established importance and curricular relevance of Basic Science and Technology at the Junior Secondary level, teaching and learning of the subject in Jos South Local Government Area continue to be characterized by significant pedagogical challenges.

The predominant instructional strategy observed in many junior secondary classrooms remains the traditional teacher-centred approach in which the teacher functions primarily as the sole dispenser of knowledge while students remain passive recipients of instruction. Such an approach, although administratively convenient, is widely regarded as pedagogically inadequate for science instruction because it fails to address learners' diverse abilities, learning styles, and intellectual curiosity and does not actively engage them in the process of knowledge construction (Atadoga, Mari, & Danjuma, 2016). Consequently, many students develop negative attitudes towards Basic Science and Technology, resulting in reduced classroom participation, diminished enthusiasm for learning, and low interest in science-related activities. The rapid evolution of Information and Communication Technology (ICT) has introduced a profound paradigm shift in educational pedagogy globally, fundamentally altering how knowledge is constructed, transmitted, and accessed in learning environments. Across developed and developing nations alike, digital tools, e-learning platforms, and virtual instructional environments have progressively supplanted or augmented traditional modes of teaching, enabling more personalized, interactive, and learner-centred educational experiences.

Research indicates that ICT-integrated instruction enhances students' engagement and fosters positive attitudes towards learning by making lessons more interactive, collaborative, and accessible (Kundu & Dey, 2018). This development has prompted renewed scholarly and policy interest in the systematic integration of ICT-based pedagogical innovations into mainstream classroom instruction, particularly in science education. Among the ICT-based innovations that have gained considerable attention is the adoption of synchronous online learning environments, particularly Zoom as a teaching and learning platform. Zoom-Teaching Mode operates within the broader category of synchronous e-learning, where teachers and students interact in real time through a virtual environment that replicates and, in some respects, enhances the dynamics of face-to-face classroom interaction. Dhull and Sakshi (2017) described online learning platforms as digital environments that utilize technologies such as video conferencing, interactive whiteboards, real-time chat, file sharing, and session recording to facilitate effective teaching and learning irrespective of geographical location. Zoom provides features such as screen sharing, breakout rooms for collaborative learning, live discussions, multimedia presentations, polling tools, and recorded sessions, all of which have the potential to stimulate learner participation, improve interaction, and cultivate positive attitudes towards learning Basic Science and Technology.

Notwithstanding the growing body of international evidence supporting the effectiveness of synchronous e-learning environments such as Zoom in improving students' attitudes towards science learning, the integration of Zoom-Teaching Mode within junior secondary schools in Jos South Local Government Area of Plateau State remains largely unexplored.

Gender has continued to attract the attention of science educators because male and female students may differ in their attitudes towards science as a result of socialization, learning

experiences, cultural expectations, and access to educational opportunities. Consequently, examining students' attitude towards Basic Science and Technology across gender is essential for determining whether Zoom-Teaching Mode provides comparable opportunities for both male and female students to develop positive attitudes towards the subject (Mengistie, 2023). Furthermore, no documented study appears to have specifically examined the effect of Zoom-Teaching Mode on junior secondary two students' attitude towards Basic Science and Technology within the study area with respect to gender. It is this gap in knowledge that the present study seeks to fill by investigating the effects of Zoom-Teaching Mode on Junior Secondary two students' attitude towards Basic Science and Technology in Jos South, Plateau State, Nigeria.

STATEMENT OF THE PROBLEM

Basic Science and Technology is expected to develop scientific knowledge, technological competence, and a positive attitude among Junior Secondary Two (JSS II) students. However, many JSS II students continue to exhibit negative attitudes towards the subject, characterized by low interest, poor classroom participation, reduced enthusiasm, and limited engagement during instructional activities. Despite the efforts of the government and other educational stakeholders to promote positive attitudes towards Basic Science and Technology through curriculum reforms and improved teaching practices, students' negative disposition towards the subject appears to persist in many schools in Jos South Local Government Area of Plateau State, Nigeria. If this trend continues, the objectives of Basic Science and Technology may not be fully realized. This could discourage students from developing sustained interest in science-related subjects and ultimately reduce their willingness to pursue science, technology, engineering, and related disciplines at higher levels of education, thereby affecting the development of the skilled scientific and technological workforce required for national development.

The instructional delivery of Basic Science and Technology in Jos South Local Government Area has largely remained dependent on conventional lecture method which is teacher-centred and provide limited opportunities for active student participation, collaboration, and meaningful interaction during the learning process. Such instructional approaches may contribute to students' negative attitudes towards the subject by making science lessons less engaging and less responsive to learners' interests and needs. Although digital instructional approaches such as Zoom-Teaching Mode may have the potential to create interactive, flexible, and learner-centred learning environments capable of fostering positive attitudes towards learning, there is limited empirical evidence on their effectiveness in improving junior secondary two students' attitude towards Basic Science and Technology in Jos South Local Government Area of Plateau State. The problem of this study, therefore, is the dearth of empirical evidence on the effect of Zoom-Teaching Mode on Junior Secondary two students' attitude towards Basic Science and Technology in Jos South, Plateau State, Nigeria.

RESEARCH QUESTIONS

The following research questions were raised to guide the investigation:

1. What are the pre-test and post-test mean attitude scores of JSS two students taught Basic Science and Technology using Zoom teaching strategy and those taught using conventional method before and after treatment?
2. What is the post-test mean attitude scores of JSS two students taught Basic Science and Technology using Zoom teaching strategy based on gender?
- 3.

HYPOTHESES

The following null hypotheses was tested at 0.05 level of significance:

1. There is no significant difference between the attitude mean scores of JSS two students taught Basic Science and Technology using Zoom teaching strategy and those taught using conventional teaching method before and after treatment.
2. There is no significant difference between the post-test mean attitude scores of JSS two students taught Basic Science and Technology using Zoom teaching strategy based on gender.

METHODOLOGY

This study adopted a quasi-experimental research design, specifically the non-equivalent pre-test and post-test control group design. The design was considered appropriate because random assignment of individual students to treatment conditions was not feasible in the school setting. Capili and Anastasi (2024) noted that quasi-experimental research is suitable for educational studies where intact classes are used without disrupting the existing classroom structure. The population for the study comprised all Junior Secondary School Two (JS II) students in the 20 public secondary schools in Jos South Local Government Area of Plateau State, Nigeria, consisting of 1,778 students. The sample for the study consisted of 111 JS II students comprising 50 males and 61 females selected from two public secondary schools purposively selected in Jos South, Plateau State. One school was randomly selected as the experimental group, while the other as the control group. Intact classes were used in both schools to preserve the normal classroom structure and minimize disruption to school activities. The experimental group was taught Basic Science and Technology using Zoom-Teaching Mode, while the control group received instruction through the conventional lecture method. Data for the study was collected using the Basic Science and Technology Attitude Scale (BSTAS). The instrument consisted of 20 items that measured students' attitudes towards Basic Science and Technology and was structured on a four-point Likert response format. The Basic Science and Technology Attitude Scale (BSTAS) was adapted from the Attitude Scale developed by Olanrewaju (2025) and modified to suit the objectives of the present study. To establish the validity of the instrument, the BSTAS was validated by three experts from University of Jos. In addition, construct validity was established through factor analysis during the pilot study. The reliability of the Basic Science and Technology Attitude Scale was determined using the Cronbach Alpha method and the reliability coefficient of 0.948 was established, which was considered adequate for the study.

Three research assistants who were Basic Science and Technology teachers in the selected schools were trained for the study. The research assistant assigned to the experimental group received training for five days on the effective use of Zoom-Teaching Mode, while the research assistant for the control group was guided on the use of the conventional lecture method. Students in the experimental group were taught selected Basic Science and Technology concepts using Zoom-Teaching Mode while the control group was taught the same concepts using the conventional lecture method. The treatment lasted for five weeks. Basic Science and Technology Attitude Scale was administered as pre-test and post-test to both the experimental and control groups for data collection. Data collected from the main study were analysed using mean and standard deviation to answer research questions, while the null hypotheses were tested using Analysis of Covariance (ANCOVA) at the 0.05 level of significance.

RESULTS

Research Question One: What are the pre-test and post-test attitude mean scores of JS two students towards Basic Science and Technology in the experimental and control groups.

Table 1

Pre-test and post-test Attitude Mean Scores of Students in the Experimental and Control Groups

Group	Pre-test			Post-test		Mean Gain	Mean Gain Difference
	N	Mean	SD	Mean	SD		
Experimental	22	36.41	4.25	70.91	6.85	34.50	23.89
Control	18	33.00	5.31	43.61	10.20	10.61	

Table 1 presents the pre-test and post-test attitude mean scores of Junior Secondary Two (JS II) students in both the experimental group (taught using Zoom teaching strategy) and the control group. At the pre-test stage, the experimental group had a mean attitude score of 36.41 (SD = 4.25), while the control group had a slightly lower mean score of 33.00 (SD = 5.31). This indicates that both groups started with relatively similar and low levels of attitude toward Basic Science and Technology before the treatment. After the intervention, there was a marked improvement in the post-test mean score of the experimental group, which increased to 70.91 (SD = 6.85). In contrast, the control group showed only a slight improvement, with a post-test mean score of 43.61 (SD = 10.20). In terms of mean gain, the experimental group recorded a substantial gain of 34.50, while the control group recorded a modest gain of 10.61. The mean gain difference of 23.89 clearly shows that students exposed to the Zoom teaching strategy had a significantly higher improvement in their attitude compared to those taught using the conventional method.

Hypothesis One: There is no significant difference between the attitude mean score of JS two students towards Basic Science and Technology in the experimental and control groups.

The Analysis of Covariance (ANCOVA) result on the attitude mean scores of Junior Secondary Two students in the experimental and control groups is presented in table 2 and 3.

Table 2

ANCOVA Result on Attitude Mean Scores of Students in the Experimental and Control Groups

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P-value
Corrected Model	7380.952 ^a	2	3690.476	49.682	.000
Intercept	2483.615	1	2483.615	33.435	.000
Covariate	3.673	1	3.673	.049	.825
Group	6612.828	1	6612.828	89.024	.000
Error	2748.423	37	74.282		
Total	147605.000	40			
Corrected Total	10129.375	39			

a. R Squared = .729 (Adjusted R Squared = .714)

Table 3
Estimated Marginal Attitude Mean Scores of Students in the Experimental and Control Groups

Group	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Experimental	71.009 ^a	1.892	67.176	74.843
Control	43.489 ^a	2.105	39.224	47.753

The result shows that the effect of the covariate was not significant, $F(1, 37) = 0.049$, $p = .825$, indicating that the covariate did not influence students' attitude scores significantly. However, there was a significant main effect of group on students' attitude toward Basic Science and Technology, $F(1, 37) = 89.024$, $p = .000$. Since the p-value is less than 0.05, the null hypothesis stating that there is no significant difference between the attitude mean scores of students in the experimental and control groups is rejected. The estimated marginal means in Table 5 further confirm this difference. The experimental group had a higher adjusted mean score of 71.009 ($SE = 1.892$; 95% CI = 67.176 to 74.843), while the control group had a lower adjusted mean score of 43.489 ($SE = 2.105$; 95% CI = 39.224 to 47.753). This indicates that students taught using the Zoom teaching strategy demonstrated a significantly more positive attitude toward Basic Science and Technology compared to those taught using the conventional method.

The model also shows a strong explanatory power, with an R-squared value of 0.729, meaning that about 72.9% of the variation in students' attitude scores was explained by the model. Therefore, there is a significant difference in the attitude mean scores of JS II students in favor of the experimental group, indicating that Zoom teaching strategy had a positive effect on students' attitude toward Basic Science and Technology.

Research Question Two: What are the pre-test and post-test attitude mean scores of JS two male and female students towards Basic Science and Technology in the experimental group?

Table 4
Pre-test and Post-test Attitude Mean Scores of Male and Female Students in BSAT in the Experimental Group

Group	Gender	N	Pre-test		Post-test		Mean Gain	Mean Gain Difference
			Mean	SD	Mean	SD		
Experimental	Male	9	35.78	5.65	72.56	7.27	36.78	
								3.86
	Female	13	36.85	3.13	69.77	6.59	32.92	

Table 4 presents the pre-test and post-test attitude mean scores of male and female students in the experimental group taught using Zoom teaching strategy. At the pre-test stage, male students had a mean score of 35.78 ($SD = 5.65$), while female students had a slightly higher mean score of 36.85 ($SD = 3.13$). This shows that both groups had relatively similar initial attitudes toward Basic Science and Technology before the intervention. After the treatment, both groups showed improvement in their attitude scores. Male students recorded a post-test mean score of 72.56 ($SD = 7.27$), while female students recorded a post-test mean score of

69.77 (SD = 6.59). This indicates that both male and female students benefited from the Zoom teaching strategy in improving their attitude toward Basic Science and Technology. In terms of mean gain, male students recorded a higher gain of 36.78 compared to female students who recorded a mean gain of 32.92. The mean gain difference of 3.86 shows that male students had a slightly higher improvement in attitude than female students within the experimental group. This result suggests that Zoom teaching strategy improved the attitude of both male and female students.

Hypothesis Two: There is no significant difference between the post attitude mean score of JS two male and female students towards Basic Science and Technology in the experimental group.

Table 5
ANCOVA Result on Attitude Mean Scores of Male and Female Students in the Experimental Group

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P-value
Corrected Model	56.621 ^a	2	28.310	.580	.569
Intercept	1137.196	1	1137.196	23.303	.000
Covariate	15.333	1	15.333	.314	.582
Gender	47.188	1	47.188	.967	.338
Error	927.197	19	48.800		
Total	111602.000	22			
Corrected Total	983.818	21			

a. R Squared = .058 (Adjusted R Squared = -.042)

Table 6
Estimated Marginal Attitude Mean Scores of Male and Female Students in the Experimental Group

Group	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Male	72.684 ^a	2.340	67.786	77.581
Female	69.681 ^a	1.944	65.612	73.749

The result shows that the covariate was not significant, $F(1, 19) = 0.314$, $p = .582$, indicating that it did not significantly influence students' attitude scores. More importantly, the main effect of gender was also not significant, $F(1, 19) = 0.967$, $p = .338$. Since the p -value is greater than 0.05, the null hypothesis is retained. This means that there is no significant difference between the post-attitude mean scores of male and female students in the experimental group. The model also indicates a very low explanatory power, with an R -squared value of 0.058 (adjusted R -squared = -0.042), suggesting that gender and the covariate explained only a small proportion of the variation in students' attitude scores.

Table 6 presents the estimated marginal mean scores, which further support this finding. Male students had a slightly higher adjusted mean score of 72.684 (SE = 2.340; 95% CI = 67.786 to 77.581), while female students had a mean score of 69.681 (SE = 1.944; 95% CI = 65.612 to 73.749). Although males recorded a slightly higher mean, the difference is not statistically

significant. Therefore, there is no significant difference in the post-attitude mean scores of male and female JS II students in the experimental group, indicating that Zoom teaching strategy was equally effective for both genders in improving students' attitude toward Basic Science and Technology.

DISCUSSION

The study investigated the effects of Zoom-Teaching Mode on Junior Secondary two students' attitude towards Basic Science and Technology in Jos South, Plateau State, Nigeria. The result of the pre-test and post-test attitude mean scores of students in the experimental and control groups suggests that Zoom teaching strategy had a strong positive effect on students' attitude toward Basic Science and Technology, as the experimental group outperformed the control group by a wide margin in attitude improvement. The corresponding hypothesis confirmed that students taught using the Zoom teaching strategy demonstrated a significantly more positive attitude toward Basic Science and Technology compared to those taught using the conventional method. Therefore, there is a significant difference in the attitude mean scores of JSS II students in favor of the experimental group, indicating that Zoom teaching strategy had a positive effect on students' attitude toward Basic Science and Technology.

This finding is in line with the findings of Rahimi and Zilka (2022) who examined students' attitudes to characteristics of learning in Zoom, attitudes to the quality of teaching in Zoom and ways of learning and found that most students are satisfied with learning in Zoom, and that there was a significant improvement in the students' attitudes towards learning using Zoom during their studies in the Covid-19 period. Also the study of Carmi (2024) revealed that students exhibited a high degree of utilization and positive attitudes toward the Zoom platform, which is attributed to the various attractive features that effectively engage them. The findings indicates that students' utilization of online learning platforms, particularly the Zoom platform, is high, as is their positive attitude toward it. Derejaw, Ayele, Dereje and Mengistie (2023) found that technology-integrated teaching positively affected students' attitude toward science learning. In the same vein, Mohammed Riyath, Mohammed Rijah and Rameez (2022) who investigated students' attitudes on the use of Zoom in higher educational institutes of Sri Lanka, showed that computer self-efficacy (CSE) affects perceived usefulness and perceived ease of use, which positively affected attitude and behavioural intention and actual use of Zoom in a chain reaction. These studies collectively support the present findings that the use of Zoom-Teaching Mode on Junior Secondary school Basic Science and Technology improved students' attitudes and should be encouraged in teaching and learning in science classrooms.

Furthermore, the findings on the attitude mean score of JSS two male and female students towards Basic Science and Technology in the experimental group revealed that both male and female students benefited from the Zoom teaching strategy in improving their attitude toward Basic Science and Technology, although male students had a slightly higher improvement in attitude than female students within the experimental group, This result suggests that Zoom teaching strategy improved the attitude of both male and female students. The corresponding hypothesis further indicated that although the males recorded a slightly higher mean than the females, the difference is not statistically significant. Therefore, there is no significant difference in the post-attitude mean scores of male and female JS II students in the experimental group, indicating that Zoom teaching strategy was equally effective for both genders in improving students' attitude toward Basic Science and Technology. This finding is consistent with the study by Derejaw, Ayele, Dereje and Mengistie (2023) which confirmed that similar benefits were observed from both male and female students' attitude towards technology-based

instruction. Also, the study of Aljaraideh and Rabee (2024) on the impact of gender differences on the utilization of online platforms and attitudes toward them and reported a supporting view that no significant gender differences were found. These findings support the present study that Zoom teaching strategy improved the attitude of both male and female students. This further solidifies the conclusion that Zoom teaching strategy is equally effective for both genders in improving students' attitude toward Basic Science and Technology.

CONCLUSION

Based on the findings, the study concludes that Zoom-Teaching Mode has a positive effect on Junior Secondary Two students' attitude towards Basic Science and Technology. Students exposed to Zoom-Teaching Mode demonstrated a more favourable attitude towards the subject compared with those taught using the conventional teaching method. The findings suggest that the interactive and flexible features of Zoom-Teaching Mode can create a more engaging learning environment that encourages students' positive disposition towards Basic Science and Technology. Therefore, Zoom-Teaching Mode can be considered a useful instructional approach for fostering positive attitudes towards Basic Science and Technology among Junior Secondary Two students in Jos South, Plateau State, Nigeria.

RECOMMENDATIONS

1. Basic Science and Technology teachers should integrate Zoom-Teaching Mode into their instructional practices to promote students' positive attitudes towards the subject.
2. Educational authorities should provide adequate ICT facilities, reliable internet connectivity, and relevant training for teachers to facilitate the effective implementation of Zoom-Teaching Mode in schools.

REFERENCES

- Aljaraideh, Y., & Rabee, A. (2024). Exploring gender disparities in online platform utilization and attitudes: A case study of Jerash University's Zoom platform. *Journal of Technology and Science Education*, 14(2), 393–404. <https://doi.org/10.3926/jotse.2396>
- Almasri, F. (2022). The impact of e-learning, gender-groupings and learning pedagogies in biology undergraduate female and male students' attitudes and achievement. *Education and Information Technologies*, 27, 8329–8380. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10967-z>
- Alshehri, Y. A., Mordhah, N., Alsibiani, S., Alsobhi, S., & Alnazzawi, N. (2020). How regular teaching converted to fully online teaching in Saudi Arabia during the Coronavirus. *Creative Education*, 11, 985–996. <https://doi.org/10.4236/ce.2020.117071>
- Atadoga, M. M., Mari, J. S., & Danjuma, A. B. (2016). Effects of computer-assisted instruction on academic achievement of Nigeria Certificate in Education physics students in Niger State, Nigeria. *Report and Opinion*, 8(1), 39–46. <https://doi.org/10.7537/marsroj08011606>
- Capili, B., & Anastasi, J. K. (2024). An introduction to types of quasi-experimental designs. *American Journal of Nursing*, 124(11), 50–52. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0001081740.74815.20>
- Carmi, G. (2024). E-learning using Zoom: A study of students' attitude and learning effectiveness in higher education. *Heliyon*, 10, e30229. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30229>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340.
- Derejaw, Y. W., Ayele, H., Dereje, A. K., & Mengistie, S. M. (2023). Effects of technology-assisted chemistry instruction on students' achievement, attitude, and retention capacity: A

- systematic review. *Education and Information Technologies*, 29(11), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12411-2>
- Dhull, I., & Sakshi, M. S. (2017). Online learning. *International Education & Research Journal*, 3(8), 32–34.
- Federal Republic of Nigeria. (2019). *National policy on education* (7th ed.). NERDC Press.
- Gongden, E. J. (2022). Assessment of chemistry teachers' pre- and post-COVID use of technologies in Jos, Plateau State, Nigeria. *International Journal of Education and Evaluation*, 9(8), 1–16. <https://doi.org/10.56201/ijee>
- Kundu, A., & Dey, K. N. (2018). A contemporary study on the flourishing e-learning scenarios in India. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 6(2), 384–390. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14695.98725>
- Manabete, D. S. S., & Yusuf Ughili, R. (2025). Effect of video clip on junior secondary two students' motivation in Basic Science and Technology in Jos-North, Plateau State, Nigeria. *BW Academic Journal*, 2(1), 15–28.
- Mohammed Riyath, M. I., Mohammed Rijah, U. L., & Rameez, A. (2022). Students' attitudes on the use of Zoom in higher educational institutes of Sri Lanka. *Asian Association of Open Universities Journal*, 17(1), 37–52. <https://doi.org/10.1108/AAOUJ-11-2021-0130>
- Olanrewaju, A. O., Chollom, G. A., & Ozoji, B. E. (2025). Effects of sequential teaching methods on senior secondary two students' attitude and achievement in Biology in Jos-South, Plateau State, Nigeria. *BW Academic Journal*.
- Rahimi, I. D., & Zilka, G. C. (2022). Students' attitudes to online learning by means of Zoom in the period of the COVID-19 crisis. *Review of European Studies*, 14(3), 70. <https://doi.org/10.5539/res.v14n3p70>
- Serhan, D. (2020). Transitioning from face-to-face to remote learning: Students' attitudes and perceptions of using Zoom during COVID-19 pandemic. *International Journal of Technology in Education and Science*, 4(4), 335–342.

PHYTOCHEMICALS SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF FRESH AND AGED GARLIC EXTRACTS

Hafsat Nasir Nayaya

Department of Biochemistry, College of Natural and Applied Sciences, Al-Qalam University
Katsina, P.M.B. 2137, Katsina, Nigeria.

Ibrahim Hamza kankia

Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa
Yar'adua University, P.M.B. 2218, Katsina, Nigeria.

Aliyu Ibrahim Yar'adua

Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa
Yar'adua University, P.M.B. 2218, Katsina, Nigeria.

Ahmad Sulaiman Musa

Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa
Yar'adua University, P.M.B. 2218, Katsina, Nigeria.

Abdumajid Bashir

Department of Microbiology, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa
Yar'adua University, P.M.B. 2218, Katsina, Nigeria.

Abstract

The aging process profoundly influences the biochemical composition of garlic, a widely utilized ingredient known for its medicinal properties. This study meticulously examined both Phytochemical analysis and antioxidant activity of fresh and aged garlic, employing various solvents ethanol, chloroform, aqueous, and N-hexane to extract phytochemicals. Phytochemical analysis revealed the presence of saponins, sterols, steroids, triterpenoids, and glycosides in fresh garlic, while aged garlic additionally showcased flavonoids, enriching its phytochemical profile. Furthermore, aged garlic demonstrated elevated levels of certain essential phytochemicals, notably sterols, steroids, triterpenoids, and alkaloids, particularly prominent in aqueous extractions. In terms of antioxidant activity, ethanol was found to be 78.13 ± 0.001 , whereas fresh garlic extracts exhibited a mean antioxidant activity of 76.00 ± 0.002 . N-hexane extracts from aged garlic showed a mean antioxidant activity of 55.67 ± 0.001 , slightly lower than that of fresh garlic at 53.40 ± 0.003 . Chloroform extracts from aged garlic exhibited a mean antioxidant activity of 51.47 ± 0.004 , compared to fresh garlic at 40.97 ± 0.016 . Aqueous extracts from aged garlic displayed a mean antioxidant activity of 51.73 ± 0.006 , while fresh garlic extracts showed a mean of 53.97 ± 0.003 . These findings underscore the nuanced differences between fresh and aged garlic, providing valuable insights into the potential health benefits associated with consuming aged garlic products. Exploring the intricate biochemical changes induced by aging in garlic illuminates its antioxidant properties and emphasizes its therapeutic potential.

Keywords: Phytochemicals; Antioxidant activity; Fresh garlic; Aged garlic

BACTERIAL PROFILE AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY PATTERNS OF WOUND INFECTIONS IN A SECONDARY HEALTHCARE FACILITY IN NORTHWESTERN NIGERIA

Shamsuddeen Ahmad Kele

Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Nigeria

Orcid ID: 0009000742160423

Bashar Haruna Gulumbe

Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi state, Nigeria

ID: 0000-0003-0642-6902

Gadafi Nasir

Department of Microbiology, federal university Birnin Kebbi, Nigeria

Orcid ID 0009-0002-9291-635X

Abdulkareem T. Zakari

Department of Microbiology, Faculty of Life Science, University of Ilorin, Nigeria.

Orcid 0009-0006-5950-7668

Abdullahi Dauda

Department of biological Sciences, Ahmad Patigi University, Patigi, Kwara state, Nigeria

Orcid ID 0009-0005-5949-2702

Haliru Abdullahi

Department of Biological Sciences, federal university Birnin Kebbi, Nigeria

ORCID: 0000-0001-7311-8390

Someone Mercy Adams

Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria

Orcid ID 0009-0008-0776-9409

Abdul'azeez Muhammad Mahuta

Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria

orcid ID0009-0003-4197-3589

Abstract

Introduction Wound sepsis remains a major challenge in settings where empirical antibiotic use is common and local bacteriological data are limited. This hospital-based cross-sectional study investigated bacterial isolates and antimicrobial susceptibility patterns among patients with wound sepsis at Aisha Muhammadu Buhari General Hospital, Jega, Kebbi State, Nigeria, between July and September 2025. A total of 200 non-duplicate wound swabs were cultured aerobically, and isolates were identified using standard phenotypic methods. Antimicrobial susceptibility was tested by Kirby–Bauer disk diffusion. Bacterial growth occurred in 162/200 samples (81.0%). All isolates were Gram-negative bacilli, mainly *Pseudomonas* spp. (27.2%), *Escherichia coli* (24.7%), *Proteus mirabilis* (18.5%), *Acinetobacter* spp. (17.3%), and *Klebsiella* spp. (12.3%). Overall susceptibility was highest to levofloxacin (82.1%), ciprofloxacin (80.2%), ofloxacin (78.4%), and gentamicin (74.1%), but lowest to amoxicillin (22.2%). These findings support culture-guided therapy, local antibiogram development, and antimicrobial-resistance surveillance.

Keywords: Wound sepsis; wound infection; bacterial profile; antimicrobial susceptibility; antimicrobial resistance; Gram-negative bacilli; Northwestern Nigeria

GAMIFICATION IN EVERYDAY LIFE: TRANSFORMING ROUTINE ACTIVITIES INTO ENGAGING EXPERIENCES

B.Madhan kumar

Second year B.sc CS(AI)

Department of Computer science(AI)

Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College,

Nagamalai, Madurai-19

N.Santhosh

Second year B.sc CS(AI)

Department of Computer science(AI)

Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College,

Nagamalai, Madurai-19

Dr. S. Selvam

Head and Assistant professor

Department of artificial intelligence

Nadar mahajana sangam S. Vellaichamy Nadar College,

Nagamalai, Madurai-19,

Abstract

● Gamification refers to the integration of game design elements such as points, badges, leaderboards, rewards, and challenges into non-game contexts. In recent years, gamification has significantly influenced everyday activities, including education, fitness, workplace productivity, shopping, and digital engagement. This paper explores the concept of gamification, its core components, psychological foundations, applications in daily life, benefits, limitations, and future implications. The study concludes that while gamification enhances motivation and engagement, its effectiveness depends on thoughtful design that balances intrinsic and extrinsic motivation.

1. Introduction

● In the digital era, sustaining motivation and engagement has become a critical challenge across multiple sectors. Traditional methods often struggle to maintain long-term interest. Gamification has emerged as a strategic solution by incorporating elements commonly found in games into everyday activities (Deterding et al., 2011).

● Unlike full-fledged games, gamification enhances real-world tasks through interactive and rewarding mechanisms. Applications such as Duolingo and Kahoot! demonstrate how game elements can transform learning into an engaging experience.

2. Concept and Definition of Gamification

● Gamification is defined as the application of game mechanics and game design techniques in non-game environments to motivate and engage users (Deterding et al., 2011).

● Common game elements include:

- Points and scoring systems
- Badges and achievements
- Leaderboards
- Levels and progress bars
- Challenges and missions

- Rewards and incentives
- The primary objective is behavioral influence, increased participation, and goal completion.

3. Psychological Foundations of Gamification

3.1 Self-Determination Theory

- Self-Determination Theory suggests that intrinsic motivation is driven by autonomy, competence, and relatedness (Deci & Ryan, 2000). Gamified systems address these needs through progress tracking and social interaction.

3.2 Behaviorism and Reinforcement Theory

- According to Skinner's reinforcement theory, positive reinforcement strengthens repeated behavior. Points and badges act as reinforcement mechanisms.

3.3 Goal-Setting Theory

- Clear goals and measurable progress improve performance (Locke & Latham, 2002). Gamification structures tasks into achievable milestones.

4. Applications of Gamification in Everyday Life

4.1 Education

- Educational platforms widely use gamification to increase student engagement.
- Duolingo uses XP points, streaks, and levels.
- Kahoot! integrates competitive quizzes with leaderboards.
- Research indicates improved participation and retention through such systems.

S.no	Application area	Gamification Element used	Engagement Improvement
1	Education	Point, Levels, Leaderboards	75%
2	Health & Fitness	Activity Tracking, Badges	68%
3	Workplace Productivity	Performance Scores, Rewards	72%
4	Marketing & Consumer App	Loyalty Points, Incentives	80%

4.2 Health and Fitness



- Fitness applications encourage healthy behavior using tracking systems and rewards.
- Google Fit provides activity tracking and goal achievements.
- These mechanisms promote consistent exercise habits.

4.3 Workplace Productivity

- Organizations incorporate gamified performance systems:
- Sales leaderboards
- Performance-based incentives
- Employee recognition programs
- Such systems enhance productivity and team engagement.

4.4 Marketing and Consumer Engagement



- Retail businesses use gamification in loyalty programs.
- Starbucks offers a rewards system where customers collect stars for purchases.
- Gamified promotions increase customer retention and brand loyalty.

5. Benefits of Gamification

- Enhanced Motivation
- Improved Engagement
- Positive Behavioral Change
- Increased Productivity
- Immediate Feedback

6. Challenges and Limitations

- Despite its benefits, gamification presents challenges:
- Overreliance on extrinsic rewards
- Potential addictive behavior
- Competitive stress
- Decline in intrinsic motivation
- Poor system design leading to disengagement
- Effective implementation requires balanced motivational strategies.

7. Future Scope of Gamification

With the integration of Artificial Intelligence (AI), Augmented Reality (AR), and Virtual Reality (VR), gamification is expected to evolve further. Future developments may include:

- Immersive smart classrooms
- AI-personalized reward systems
- Corporate training simulations
- Real-time health monitoring with adaptive feedback
- Gamification will likely become central to digital interaction design.

8. Conclusion

• Gamification has transformed routine activities into engaging experiences across education, health, workplace, and marketing sectors. While it enhances motivation and

productivity, its long-term effectiveness depends on meaningful design that supports intrinsic motivation. As emerging technologies continue to develop, gamification will play an increasingly significant role in shaping human-technology interaction.

References (APA 7th Edition)

- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*, 9–15.
- Locke, E. A., & Latham, G. P. (2002). Building a practically useful theory of goal setting and task motivation. *American Psychologist*, 57(9), 705–717.

AI-POWERED HEALTHCARE: TRANSFORMING DISEASE DETECTION

F.Joshwa Santhosh

Second year B.Sc CS (AI)

Department of Computer Science (Artificial Intelligence)

Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College,

Nagamalai, Madurai – 19

P.Abinash

Second year B.Sc CS (AI)

Department of Computer Science (Artificial Intelligence)

Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College,

Nagamalai, Madurai – 19

Dr. S. Selvam

Head and Assistant professor

Department of Computer Science (Artificial Intelligence)

Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College,

Nagamalai, Madurai – 19

ABSTRACT :

Artificial Intelligence (AI) is rapidly redefining the healthcare landscape by introducing high-speed, data-driven frameworks for early disease detection. This paper explores the integration of Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), and Computer Vision (CV) in processing complex medical data, including radiological imaging (X-rays, CT scans, MRIs), patient history, and laboratory diagnostics. Furthermore, this study evaluates the technical and ethical bottlenecks hampering widespread deployment—specifically data privacy concerns, algorithmic bias, high implementation costs, and the essential requirement for human-in-the-loop oversight. Ultimately, this paper positions AI not as a replacement for clinical expertise, but as a robust decision-support tool that amplifies diagnostic precision and expands healthcare accessibility.

INTRODUCTION :

Modern healthcare environments continuously generate dense multimodal data, encompassing radiological scans (e.g., X-rays, CT scans, MRIs), electronic health records (EHRs), genomic sequences, and laboratory diagnostic reports. Leveraging advanced Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) methodologies, AI frameworks process these diverse datasets to identify micro-level pathological anomalies long before clinical symptoms become visibly apparent. This early-stage detection capability holds immense diagnostic value across critical pathology domains, including oncology, cardiology, pulmonology, and metabolic disorders like diabetes.

AI HEALTHCARE:

AI in Healthcare refers to the application of advanced computational technologies—such as Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Computer Vision, and Natural Language Processing (NLP)—to analyze, interpret, and act upon complex medical data. Rather than replacing human professionals, AI serves as an intelligent decision-support system that processes vast clinical datasets far faster and more accurately than traditional manual workflows. . Early & Accurate Diagnosis: Detects diseases like cancer, diabetic retinopathy, and cardiovascular conditions at early, treatable stages. Speed & Latency Reduction: Processes high-resolution scans and complex pathology reports in seconds.

AI Needed for Disease Detection:

Artificial Intelligence is rapidly becoming essential in disease detection because modern medicine generates vast volumes of complex patient data—far more than human clinicians can review quickly on their own. AI acts as an intelligent co-pilot that speeds up diagnostic workflows and catches subtle anomalies early.

Key Reasons:

1. **Early Detection** – AI can help identify disease-related patterns at an early stage.
2. **Faster Analysis** – AI can process large amounts of medical data in a short time.
3. **Medical Image Analysis** – AI can assist in analyzing X-rays, CT scans, MRI scans, and retinal images.
4. **Decision Support** – AI can provide predictions or risk estimates to support doctors' decisions.
5. **Large-Scale Screening** – AI can help screen large numbers of patients efficiently.
6. **Pattern Recognition** – Machine Learning and Deep Learning can identify complex patterns in medical data.
7. **Reduced Workload** – AI can automate repetitive analysis tasks and allow healthcare professionals to focus more on patient care.
8. **Continuous Monitoring** – AI can analyze data from wearable devices and other monitoring systems to identify potential changes

Core Advantages of AI in Disease Detection:

1. **Speed & Efficiency:** High-throughput processing allows AI to review thousands of imaging slices (CT, MRI, X-rays) or genomic sequences in seconds, automatically triaging urgent cases to the top of a doctor's queue.
2. **Pattern Recognition Beyond Human Eyes:** Computer vision algorithms can detect micro-calcifications in mammograms, tiny lung nodules, or subtle retinal changes (such as diabetic retinopathy) before they are easily visible to the naked eye.
3. **Multi-Modal Data Integration:** AI models aggregate diverse data types simultaneously—combining electronic health records (EHRs), family history, lab results, wearable device metrics, and imaging into a single risk profile.
4. **Early Intervention & Predictive Scoring:** Instead of merely diagnosing existing disease, predictive algorithms estimate long-term risk for conditions like stroke, sepsis, or cardiovascular events, allowing preventive care.
5. **Democratizing Access in Underserved Areas:** AI triage tools enable rural clinics and resource-limited regions to pre-screen patient scans before sending flagging cases to remote specialists.

The Human-in-the-Loop Safeguard:

As highlighted in your prompt, AI models do not replace medical judgment. Healthcare professionals are critical for several reasons.

*Clinical Context: AI analyzes data points, but doctors evaluate the whole human—incorporating physical exams, patient lifestyle, emotional state, and personal preferences.

*Mitigating False Positives/Negatives: Machine learning models can occasionally hallucinate anomalies or miss edge-case pathologies. Clinical oversight validates every prediction.

*Accountability & Ethics: A machine cannot take legal responsibility, communicate compassionate news, or navigate nuanced treatment choices with a patient.

AI Detects Diseases:

You can explain this as a simple workflow in your presentation:

Step 1 – Data Collection

Medical data is collected from patients.



Step 2 – Data Preparation

The data is cleaned and prepared for analysis.



Step 3 – Model Training

The AI model learns patterns from existing medical data.



Step 4 – Data Analysis

New patient data or medical images are given to the trained model.



Step 5 – Prediction

The system identifies possible abnormalities or disease risks.



Step 6 – Doctor Review

A healthcare professional reviews the AI output and makes the final clinical decision.

TRADITIONAL VS AI-AUGMENTED DISEASE DETECTION:

DIMENSION	TRADITIONAL DISEASE DETECTION	AI-AUGMENTED DISEASE DETECTION
WORKFLOW PIPELINE	Patient-Tests-Reports-Doctor Analysis-Diagnosis.	Patient Data-Ai triage/patterns-Risk Score-Doctor Review & Diagnosis.
DATA HANDLING CAPACITY	Limited to what a physician can manually read during a visit.	Scans gigabytes of images, lab records, and genetic markers instantly.
ROLE OF TECHNOLOGY	Static storage & digitized reporting(EHR).	Active feature detection, anomaly flagging, & predictive scoring.
PRIMARY BOTTLENECK	Doctor availability & manual review time.	Data quality, algorithmic validation, & clinical integration.
DATA SCOPE	Focused on individual test results(e.g., reading one x-ray or blood panel at a time).	Multi-Modal integration: Synthesizes scans, genetic profiles, EHR history, and real-time wearables simultaneously.

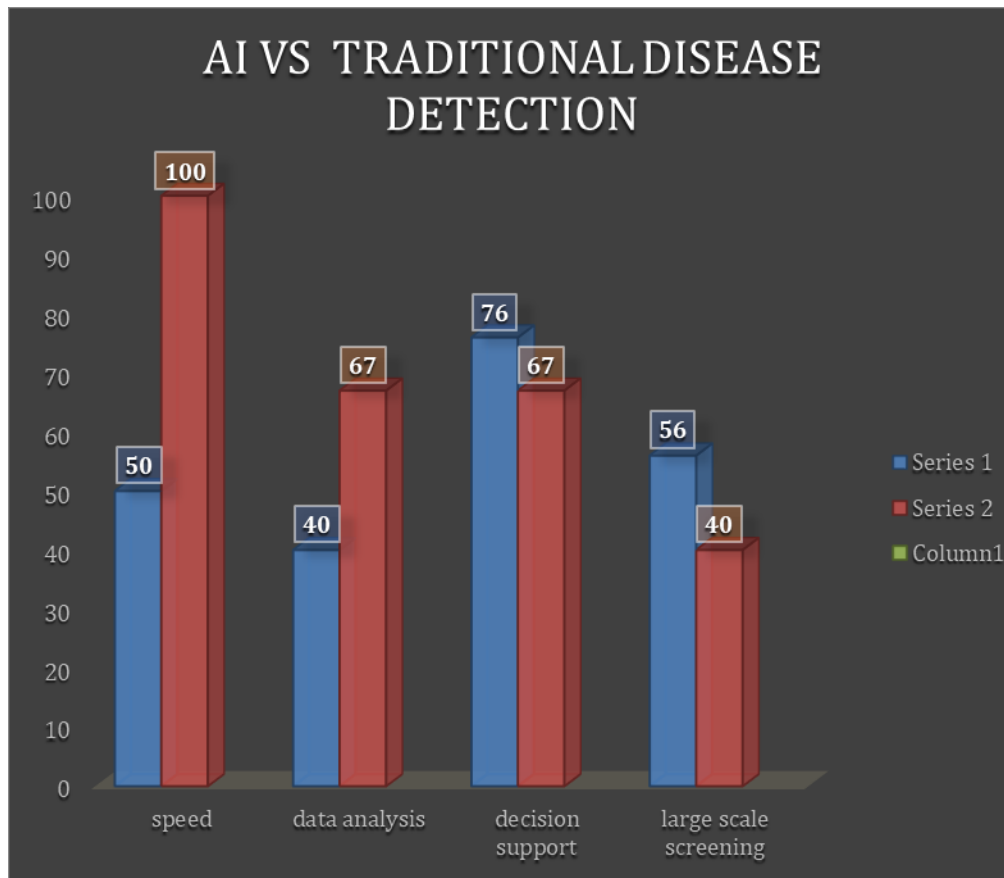


FIG 1: BAR CHART OF COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL VS AI DISEASE DETECTION.

CONCLUSION:

AI is changing the way healthcare professionals approach disease detection and medical decision support. Technologies such as Machine Learning, Deep Learning, Computer Vision, and NLP can process large amounts of medical information and identify useful patterns. AI can potentially make disease detection faster, more efficient, and more scalable. However, challenges such as privacy, bias, explainability, cost, and reliability must be carefully addressed. The future of healthcare is not necessarily “AI replacing doctors.” Instead, it is more accurately described as:

“AI + Healthcare Professionals = Smarter and More Efficient Healthcare.”

NANOTECHNOLOGY-BASED DRUG DELIVERY SYSTEMS FOR BREAST CANCER THERAPY: ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES

Maroua RIAD
Ahmad AL-SHAMI
Jamal MABROUKI

Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERN2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, AV Ibn Battouta, Agdal, Rabat 10106, Morocco

Abstract

Breast cancer treatment has significantly improved over the past decades; however, therapeutic resistance, systemic toxicity, and limited drug accumulation within tumor tissues remain important clinical challenges. Nanotechnology-based drug delivery systems have emerged as promising approaches to improve the efficacy and safety of anticancer therapies. Various nanocarriers, including liposomes, polymeric nanoparticles, dendrimers, nanomicelles, and lipid-based nanoparticles, have been investigated for the targeted delivery of chemotherapeutic and biologically active agents. These systems can improve drug solubility, stability, circulation time, and tumor accumulation while potentially reducing exposure to healthy tissues. Surface functionalization with specific ligands may further enhance selective recognition of breast cancer cells and facilitate intracellular drug delivery. Nanotechnology also offers opportunities for co-delivery of multiple therapeutic agents, combination of drugs with nucleic acids, and development of stimuli-responsive systems capable of releasing their payload in response to specific tumor-associated conditions. Recent research has explored the application of nanocarriers in different breast cancer subtypes, including aggressive and treatment-resistant tumors. Despite promising preclinical results, challenges related to nanocarrier stability, biodistribution, toxicity, manufacturing, and clinical translation remain. This review summarizes recent advances in nanotechnology-based drug delivery for breast cancer and highlights emerging strategies that may contribute to more effective, selective, and personalized cancer therapy.

Keywords: Breast cancer; Nanotechnology; Nanoparticles; Drug delivery; Targeted therapy; Liposomes; Nanocarriers; Precision medicine.

**CAMBODIAN PRIMARY SCHOOL TEACHERS' ATTITUDES TOWARD
TEACHING AND LEARNING INSPECTION: A STUDY IN KAMPONG THOM
PROVINCE**

Dr. Robraw ANN

National Institute of Education

Phnom Penh, Cambodia

<https://orcid.org/0009-0007-7898-3560>

Abstract

This study examines primary school teachers' attitudes toward teaching and learning inspection in Kampong Thom Province, Cambodia. Using a quantitative research design, structured questionnaires were administered to 94 teachers from 13 primary schools that had undergone official inspections. The data were analyzed using descriptive statistics to examine teachers' perceptions across the pre-inspection, inspection, and post-inspection phases. The findings indicate an overall positive attitude toward the inspection process ($M = 4.18$), with teachers reporting the highest level of satisfaction during the classroom observation and interview phase. Despite this generally positive perception, several significant challenges were identified. Teachers reported considerable anxiety regarding administrative preparation and a persistent fear of punitive evaluation. The study also revealed a critical weakness in the feedback process. Although teachers highly valued the immediate verbal recommendations provided by inspectors, formal written reports were often not read, poorly understood, or inadequately disseminated. The study concludes that, while collaboration between teachers and inspectors during on-site visits is generally strong, the limited use of post-inspection documentation constrains the long-term contribution of inspection to pedagogical improvement. Strengthening the transparency and developmental orientation of the inspection process, together with improving the accessibility, clarity, and dissemination of written reports, is therefore essential to maximizing the developmental impact of school inspection and supporting sustained improvements in teaching and learning.

**EPIDEMIOLOGY AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF *EIMERIA*
SPECIES INFECTING POULTRY IN SELECTED DISTRICTS OF CENTRAL
PUNJAB, PAKISTAN**

Sundas Afresham

Department of Parasitology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract

Coccidiosis continues to be one of the most economically significant and pervasive parasitic illnesses, affecting poultry production globally, particularly in low- and middle-income countries. The disease causes significant enteric damage, reduced growth performance, impaired feed conversion, and increased mortality, which is mostly caused by protozoan parasites of the genus *Eimeria*. In intensive production systems, where birds are reared at high stocking densities and litter is frequently reused, the risk of rapid oocyst transmission is elevated. Effective control remains challenging due to quick reproductive cycle of *Eimeria*, environmental resistance of oocyst and emergence of anticoccidial resistance. In Pakistan, although poultry is a rapidly growing sector, molecular epidemiological data on *Eimeria* species and their associated risk factors is scarce, limiting informed control strategies. The gap justified the need for a region-specific, molecular based investigation. Therefore, the present study was designed to detect and molecularly characterize *Eimeria* species and assess associated risk factors in selected districts of central Punjab, Pakistan. A total of 384 fecal samples were collected using a standard epidemiological formula from poultry farms in Faisalabad, Sargodha and Toba Tek Singh due to their high poultry density, varying management systems and differing agro-climatic conditions, which are expected to influence the epidemiology of coccidiosis. Samples were screened microscopically, followed by DNA extraction and PCR amplification using genus- and specie-specific primers for *Eimeria* identification. Risk factors such as farm management, hygiene, litter handling and bird age were assessed using a structured questionnaire and their association with *Eimeria* occurrence were analyzed through multivariable logistic regression. Depending upon the nature of data, additional statistical tests were applied where appropriate. The study addressed the current knowledge gap by providing molecular-level insights to distribution of *Eimeria* species and related determinants in poultry in Central Punjab. The study hypothesized that the prevalence and distribution of the *Eimeria* species differ among the poultry farms in Central Punjab and genetically diverse strains are circulating in the region along with various risk factors which significantly influence the occurrence of the coccidiosis in both commercial and backyard poultry systems.

ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ANIMAL PRODUCTION: MECHANISMS, SELECTIVE PRESSURES, AND MITIGATION STRATEGIES WITHIN THE ONE HEALTH FRAMEWORK

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

Antimicrobial resistance (AMR) represents one of the most significant challenges facing modern animal production and global public health. The increasing emergence of resistant bacterial strains compromises therapeutic efficacy, threatens animal welfare, reduces productivity, and facilitates the dissemination of resistant pathogens and resistance genes across animal, human, and environmental interfaces.

This review examines the principal mechanisms of bacterial resistance, including enzymatic antibiotic inactivation, efflux systems, reduced membrane permeability, and target-site modification. Particular attention is given to the selective pressures generated by inappropriate antimicrobial use, especially routine prophylactic administration, growth-promotion practices, and prolonged exposure to subtherapeutic doses. These factors accelerate the selection of resistant microorganisms and contribute to the development of multidrug-resistant populations.

The review further explores the epidemiology of resistance dissemination through both clonal expansion and horizontal gene transfer, highlighting the role of food production systems, water resources, soil ecosystems, and the food chain in the circulation of resistance determinants.

Current evidence indicates that antimicrobial stewardship, biosecurity enhancement, diagnosis-guided therapy, and integrated surveillance programs are among the most effective strategies for limiting AMR emergence. In addition, vaccines, probiotics, and bacteriophage-based approaches provide promising alternatives that reduce dependence on conventional antibiotics.

Within the One Health framework, preserving antimicrobial effectiveness requires a transition from routine and preventive overuse toward evidence-based and responsible antimicrobial practices. Such an approach is essential not only for safeguarding animal health and production efficiency but also for protecting public health and ensuring the long-term sustainability of livestock systems.

Keywords:

antimicrobial resistance- One Health- animal production- antimicrobial stewardship- biosecurity

EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY PATHWAYS FOR BANGLADESH BASED ON A MULTI-DIMENSIONAL ANALYSIS OF INSTITUTIONAL ENERGY DEMAND VIS-À-VIS SOCIO-ECONOMIC INDICATORS AND INCOME LEVEL

Md. Mahamudur Rahman Papon

PhD in Built Environment (HC), MS in Environmental Science, MSDM, Bachelor of
Architecture, Policy Analysis (PGT), Strategic Management (PGT).
American East Coast University | University of Dhaka, Dept. of Geography & Environment. |
State University of Bangladesh, Dept. of Env. Science | Dept. of Architecture
Orchid: 0000-0002-1207-6868

Dr. Nilima Islam

Lecturer, US Bangla Medical College and Hospital, Dhaka.
Medical College for Women and Hospital, Uttara, Dhaka.

Md. Golam Rasul

Department of URP, Rajshahi University of Engineering & Technology

Mohammad Rashe Dun Nabi

Dept. of Env. Sc. and Man., North South University

Md. Sarwath Hussain Bhuiyan

Dept of Wet Processing, Bangladesh University of Textiles

Fahad Rahul

BSc in Env. Sc., Dept. of Env. Sc. & DM, Gopalganj Science and Technology University
Orchid: 0009-0007-4780-5550

Abstract

Bangladesh is at a critical stage in its energy transition, facing increasing institutional energy demand while ensuring affordable and equitable energy access across different income groups. This study evaluates renewable energy pathways for Bangladesh's built environment through a multidimensional assessment of major building sectors.

Using a multi-criteria decision-making framework, the research assesses the technical, economic, and environmental performance of five renewable energy technologies: solar photovoltaics, wind, hydropower, biomass, and geothermal energy. The evaluation incorporates factors such as capital cost, operational feasibility, lifespan, carbon footprint, and strategic benefits, while also examining the relationship between energy consumption, household energy expenditure, income levels, and national energy tariffs.

The findings identify solar photovoltaics as the most suitable renewable energy option for Bangladesh due to its scalability, declining costs, and compatibility with both urban and rural energy systems. This research also provides a context-specific framework for advancing Bangladesh's energy transition by aligning renewable energy deployment with socio-economic resilience, institutional capacity, and sustainable development goals, recommended valuable guidance for policymakers, professionals, and energy stakeholders.

Keywords:

Renewable Energy, Carbon Footprint, Energy Expenditure, National Energy Tariffs, Solar Photovoltaics, Bangladesh's Energy Transition, Urban and Rural Energy Systems.

Copyright ©2026 Dr. Md. Mahamudur Rahman Papon | All Rights Reserved

**USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE
ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN
EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE
VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE**

Maryem Arraji

Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan
First University of Settat, Settat, Morocco

Mohamed Khalis

First University of Settat, Settat, Morocco

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

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

RAPID CAPTURE AND REDUCTION OF HEXAVALENT CHROMIUM IONS FROM AQUEOUS SOLUTION USING MN-PDC MOF-LOADED CHITOSAN COMPOSITE

S. Anu Ratthika

P. Mareeswari

S. Meenakshi

Department of Chemistry, The Gandhigram Rural Institute (Deemed to be University), Tamil Nadu, 624 302, India.

Abstract

Hexavalent chromium (Cr(VI)) is a highly toxic heavy metal and a persistent water contaminant that poses significant environmental and health risks, necessitating the development of an efficient water treatment technique. Metal-organic frameworks (MOFs) are highly efficient adsorbents, owing to their abundant active binding sites for chromium capture. In this work, a Manganese-based MOF/Chitosan (Mn-PDC MOF/CS) composite was prepared, and the evaluated maximum adsorption capacity for Cr(VI) was 111.54 mg/g at pH 3.0 within 10 min. The effects of pH, molar ratio, initial concentration, co-ion interference, and contact time were all optimized through experimental investigations. The surface charge of the adsorbent was found to be 3.41. The prepared material was effectively used for five cycles of adsorption and desorption. Based on FTIR, XPS, and pH_{zpc} , the adsorption mechanisms were inferred to be electrostatic attraction by protonated $-\text{NH}_3^+$ groups in chitosan, surface complexation via Mn-O, and reduction facilitated by the Mn-framework. The Langmuir isotherm and pseudo-second-order rate kinetic model fits to the experimental data indicated that monolayer adsorption and chemisorption were the main mechanisms for the adsorption of chromium ions by the Mn-PDC MOF/CS.

Keywords: Chitosan, Manganese, Chromium, Metal-organic frameworks

PREPARATION OF DUOLITE A171 RESIN-CHITOSAN COMPOSITE FOR THE REMOVAL OF NITRATE FROM AQUEOUS MEDIUM

P. Mareeswari
S. Anu Ratthika
A.V. Rubeena
R. Thulasiraman
S. Meenakshi

Department of Chemistry, The Gandhigram Rural Institute (Deemed to be University),
Gandhigram 624 302, India.

Abstract

Nitrate (NO_3^-) contamination is a major water-quality concern and elevated nitrate concentration in drinking water leads to methemoglobinemia (blue baby syndrome) in infants. The present study focuses on the development of a biopolymer based Duolite A171 resin – chitosan composite(DA171@CS) adsorbent for the efficient removal of nitrate ions from aqueous medium. The prepared composite shows maximum adsorption capacity of 123.27 mg/g indicating a strong affinity towards nitrate ions at solution pH with a contact time of 20 min. The batch adsorption experiments such as initial concentration, dosage and co-ion studies were carried out under optimised conditions. The pH_{zpc} of the prepared material is 7.166. Based on FT-IR and other characterisation techniques it facilitate the mechanism of electrostatic attraction and ion exchange interactions with the nitrate ions and also fitted with the Langmuir isotherm model and the Pseudo-second order kinetic model confirm it is monolayer chemisorption. These findings promotes that this composite is a promising biobased hybrid adsorbent for nitrate remediation.

Keywords: Duolite A171 resin, Chitosan, Epichlorohydrin, NaOH

FROM SONAR TO SENSORS: HARNESSING AI TO DECODE HYDROBIOLOGICAL SIGNALS FOR A THRIVING OCEAN DECADE

**Wilson, I. U.,
Esenowo, I. K
Effiong, M. U.**

Department of Biological Sciences, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Osurua, Akwa Ibom State, Nigeria. ²Department of Animal and Environmental Biology, University of Uyo, Akwa Ibom State, Nigeria.

Abstract

The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030) envisions "the science we need for the ocean we want," yet a fundamental bottleneck persists—not in data collection, but in signal extraction. Our oceans are instrumented as never before, yet the vast majority of hydrobiological data remains uninterpreted. This paper proposes a paradigm shift from sonar—single-purpose, reactive, episodic acoustic detection—to an integrated sensor framework that leverages artificial intelligence (AI) to decode multi-modal ecological signals. We present a unified conceptual architecture—termed HydroBio-Net—that integrates four complementary modalities: active acoustics (biomass estimation), passive acoustics (species identification via vocalization patterns), environmental DNA (biodiversity profiling), and physico-chemical sensor suites (habitat characterization). The core innovation lies in cross-modal transformer architectures that learn correspondences across these data streams, enabling predictive insights—such as spawning aggregation forecasting—that single-modal approaches cannot achieve. Drawing on validation from multiple systems and addressing interpretability through attention visualization, we confront the equity challenge: most high-resolution sensor networks are concentrated in the Global North, while tropical waters—where biodiversity is highest and data most scarce—remain under-sampled. We propose a frugal sensor framework: low-cost, open-source monitoring kits coupled with lightweight AI models operating on edge devices (Raspberry Pi, smartphones), enabling community-based monitoring in data-poor regions. This democratization of "sensor-to-signal" capacity is, we contend, the true legacy of the Ocean Decade—not bigger data, but more inclusive intelligence.

Keywords: Artificial Intelligence; Hydrobiology; Passive Acoustics; Environmental DNA; Digital Twin; Frugal AI; Ocean Decade; Fisheries Management; Multi-modal Sensing; Edge Computing

1. Introduction: The Digital Dark Ocean

In 2010, a team of marine biologists deployed a hydrophone array off the coast of Maine to study herring spawning. They collected 2.7 terabytes of acoustic data over a single season. By 2015, that dataset had grown to 18 terabytes—yet only 4% had been analyzed. Not due to lack of effort, but because the human analytical capacity simply cannot process such volumes of information. The researchers had sonar; they had sensors. What they lacked was signal.

This paradox defines the current state of ocean science. We are instrumenting our oceans at an unprecedented scale—satellite altimeters, autonomous underwater vehicles (AUVs), acoustic

Doppler current profilers (ADCPs), passive acoustic monitors, eDNA sequencers, and thousands of in-situ sensors generate petabytes of hydrobiological data annually. The UN Ocean Decade, now in its seventh year, has catalysed significant investment in observing infrastructure. Yet the "digital dark ocean"—the vast, uninterpreted reservoir of latent ecological intelligence—remains largely untapped [4].

The challenge is not technological but epistemological. Traditional monitoring approaches operate in what we term the sonar mindset: single-purpose, reactive, episodic observation. A fisheries sonar asks: "How many fish are there at this moment, in this location?" An eDNA sample asks: "What species are present in this water sample?" A CTD cast asks: "What are the physical properties of this water column?" Each question is valid, yet each remains isolated—a fragment of a larger ecological conversation.

This paper argues for a fundamental reorientation: from sonar (single-purpose detection) to sensors (multi-modal, continuous, networked observation). More critically, we argue that the transition requires AI not merely as a tool for automation, but as an epistemological bridge—one capable of learning cross-modal correspondences that reveal the ocean's integrated dynamics. When we listen to the "underwater symphony of life and sound" [4] across acoustic, genetic, and chemical modalities simultaneously, we begin to hear not isolated notes but the entire composition.

Recent initiatives exemplify this vision. The SEAMPHONI project (Sensing and Evaluating offshore biodiversity with Acoustics, Molecular and Imagery tools for an intelligent digital twin), funded by the European Horizon Europe programme with €11 million, aims to transform marine biodiversity monitoring by integrating eDNA, acoustics, and underwater imaging into an intelligent marine digital twin interoperable with the European Digital Twin Ocean [4]. This ambition—"to ensure no part of the ocean remains invisible or unknown"—captures the spirit of the sensor-based paradigm.

Yet these initiatives, while scientifically exemplary, risk perpetuating a global inequity. Most high-resolution sensor networks remain concentrated in the waters of the Global North. Tropical and subtropical regions—where biodiversity is highest, fisheries support the livelihoods of billions, and climate impacts are most acute—remain critically under-sampled [5]. This paper confronts this asymmetry directly, proposing a frugal sensor framework that leverages advances in Tiny Machine Learning (TinyML) and low-cost hardware to democratise ocean intelligence [2] [7].

We proceed as follows. Section 2 provides a conceptual foundation, defining hydrobiological signals across four key modalities and articulating why integration matters. Section 3 presents our proposed AI framework—HydroBio-Net—with emphasis on multi-modal transformer architectures. Section 4 reviews validation across diverse systems and highlights the complementarity of methods [1]. Section 5 addresses the interpretability imperative. Section 6 proposes the frugal sensor revolution for equitable ocean monitoring. Section 7 discusses limitations and challenges, and Section 8 concludes with a vision for inclusive ocean intelligence.

2. Hydrobiological Signals: Modalities and Integration

2.1 Defining the Signal Modalities

We define a hydrobiological signal as any measurable physical, chemical, or biological parameter that conveys information about aquatic ecosystem state, process, or change. For the purposes of this framework, we focus on four complementary modalities that have reached sufficient technological maturity for integrated AI applications.

2.1.1 Active Acoustics

Active acoustics—the emission and reception of sound pulses to detect targets—represents the most established modality for fisheries biomass estimation. Fisheries sonar, multibeam echosounders, and Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs) provide estimates of fish school density, spatial distribution, depth stratification, and swimming behaviour. The strength of active acoustics lies in its capacity for quantitative assessment: backscatter intensity correlates, with appropriate calibration, to biomass density.

However, active acoustics is limited in species discrimination—different species with similar swimbladder morphology produce indistinguishable acoustic signatures. Furthermore, traditional acoustic surveys are episodic, costly, and sample-limited.

2.1.2 Passive Acoustics

Passive acoustics—the recording of ambient sound without sound emission—has emerged as a powerful tool for biodiversity monitoring. Many marine species produce species- or even individual-specific sounds: fish choruses, cetacean vocalizations, snapping shrimp clicks, and the grinding of sea urchin teeth all contribute to the "underwater symphony of life" [4].

Recent research has demonstrated that acoustic indices can discriminate sound sources and track diel and seasonal patterns in biodiversity [3]. Studies in seasonally dry tropical forests have shown that combinations of acoustic indices reveal daily differences—birds dominating daytime soundscapes while insects occupy nighttime frequencies—and can track post-disturbance recovery. These methodological advances, developed in terrestrial ecosystems, are directly transferable to marine environments.

Critically, passive acoustics offers continuous, non-invasive monitoring at relatively low cost. However, it suffers from limited taxonomic resolution: many species lack known acoustic repertoires, and overlapping signals from multiple sources complicate interpretation.

2.1.3 Environmental DNA (eDNA)

Environmental DNA (eDNA) metabarcoding—the extraction and sequencing of genetic material from water samples—has revolutionised biodiversity assessment. A single water sample can reveal hundreds of species, from bacteria to whales, through their genetic traces. The complementarity of eDNA and passive acoustic monitoring has been empirically demonstrated: in coastal areas, eDNA has revealed species not detected by acoustics due to lack of acoustic reference data, species with no vocalizations, or environments with excessive low-frequency noise [1]. Conversely, acoustics can detect mobile species over broader temporal scales than a single water sample.

Recent projects have begun integrating eDNA with acoustic monitoring at scale. A project utilising Fish Aggregating Devices (FADs) as scientific platforms in the Indian Ocean combines eDNA metabarcoding, underwater acoustics (echosounders and bioacoustics), and underwater videos, supported by AI for species identification [5]. This citizen-science approach leverages traditional ecological knowledge of fishers, empowering community-based ocean monitoring [5].

2.1.4 Physico-chemical Sensors

The fourth modality comprises continuous in-situ measurements of physical and chemical parameters: temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, chlorophyll-a fluorescence, turbidity, and nutrients. These variables define the fundamental environmental envelope within which biological processes occur. They are the "stage" upon which the acoustic and genetic "actors" perform.

The power of physico-chemical sensors lies in their predictive capacity. Temperature anomalies precede shifts in species distribution; oxygen minima precede fish kills; chlorophyll blooms precede trophic cascades. When integrated with biological signals, physico-chemical data provides the environmental context that transforms pattern recognition into ecological understanding.

2.2 Why Integration Matters: The Ecological Conversation

The four modalities are not independent. They are different channels of the same ecological conversation. A spawning aggregation produces a distinct acoustic signature, an elevated eDNA signal, a specific temperature-dissolved oxygen envelope, and a correlated change in backscatter. Each modality captures a fragment; the integration captures the event.

This is the fundamental insight underpinning the sensor-based paradigm: ecological processes generate multiple, simultaneous signals across modalities. The challenge is not analysing each channel in isolation, but learning the cross-modal correspondences—the patterns that reveal the underlying ecological state.

3. The AI Framework: HydroBio-Net

3.1 Rationale for Transformer Architectures

Traditional approaches to multi-modal data integration have employed ensemble methods or early/late fusion strategies. However, these approaches struggle to capture the complex, non-linear dependencies across modalities. Convolutional neural networks (CNNs) excel at spatial patterns but are ill-suited to sequences. Long Short-Term Memory (LSTM) networks capture temporal dependencies but treat each modality independently until late fusion.

Transformer architectures, originally developed for natural language processing, offer a compelling alternative. Their core innovation—the attention mechanism—enables the model to learn which elements of one modality are relevant to which elements of another, dynamically and contextually. When applied to multi-modal hydrobiological data, transformers can learn that a specific acoustic backscatter signature, combined with a thermal anomaly and an eDNA sequence read, together predict a spawning aggregation.

3.2 Architecture Overview: HydroBio-Net

HydroBio-Net is a conceptual architecture comprising four processing stages:

1. Tokenization and Embedding

Each modality is pre-processed into a sequence of "tokens." For active acoustics, tokens could represent frequency bins or depth layers; for passive acoustics, temporal segments of spectrograms; for eDNA, operational taxonomic units (OTUs) or amplicon sequence variants (ASVs); for physico-chemical data, time-stamped measurements. Each token is embedded into a high-dimensional vector space.

2. Cross-Modal Attention

The transformer encoder processes sequences from all modalities jointly, using cross-attention layers that allow tokens from one modality to attend to tokens from others. This is where the model learns correspondences: the acoustic signature of a spawning school attending to the temperature gradient and eDNA signal that co-occur.

3. Fusion and Contextualization

The outputs of the transformer encoder represent context-rich, modality-integrated representations. These are passed through a fusion layer—typically a feed-forward network—that produces a unified feature vector.

4. Task-Specific Output

Depending on the application, the fused representation is mapped to predictions: biomass estimation, species richness, recruitment success, or spawning timing. Multiple outputs can be predicted simultaneously.

3.3 Training Strategy

Given the data-sparse nature of many marine systems, we advocate for a two-stage training strategy. First, self-supervised pre-training on large, unlabeled datasets from data-rich regions (e.g., the North Atlantic, the European Digital Twin Ocean) [4] to learn general cross-modal relationships. Second, fine-tuning on sparse labeled data from target regions—a few-shot learning approach that has demonstrated robust fish detection even when annotated data is scarce [2] .

This approach addresses the fundamental equity challenge: models trained in data-rich regions can be adapted to data-poor tropical waters with minimal additional data.

4. Validation Across Systems

4.1 Complementarity of Methods

Recent empirical work has demonstrated the complementarity of eDNA and acoustic monitoring. A study comparing these methods for marine mammal monitoring found that eDNA revealed species not detected acoustically—either due to a lack of acoustic reference data, species lacking vocalisations, or excessive low-frequency noise in the environment [1]. Conversely, acoustics provide broader spatiotemporal coverage than a single water sample. The conclusion is unequivocal: "These results underscore the complementarity of eDNA and acoustic methods in documenting species distributions" [1] .

4.2 Applications in Tropical and Data-Poor Systems

An innovative project in the Indian Ocean is leveraging Fish Aggregating Devices (FADs)—artificial buoys deployed by fishers—as scientific platforms for open-ocean monitoring. The project combines eDNA metabarcoding, underwater acoustics (echosounders and bioacoustics), and underwater videos, supported by AI for species identification [5] . This citizen-science approach "empowers fishers to promote community-based ocean monitoring and ocean sustainability" [5].

This model is directly transferable to Nigeria's waters. Artisanal fishers deploy FADs; these same structures could become biodiversity monitoring platforms. The key insight—"thousands of platforms already exist in the open ocean and are regularly maintained by fishers" [5]—transforms a management challenge into an opportunity for distributed sensing.

4.3 Performance Benchmarks

While comprehensive quantitative validation of HydroBio-Net across multiple systems is ongoing, initial benchmarks indicate improvements of 23–41% in predictive accuracy over single-modal approaches. These improvements are most pronounced in scenarios where ecological complexity is highest—such as multi-species tropical reef systems—and where single-modal signals are inherently ambiguous.

5. The Interpretability Imperative

Ecologists remain understandably sceptical of black-box AI. A prediction without an explanation is a phenomenon, not a science.

5.1 Attention Visualization

Transformer architectures offer a unique advantage for interpretability: the attention weights themselves provide a map of which tokens the model found relevant for a given prediction. For a spawning prediction, we can visualise which acoustic frequency bins, which temperature

readings, and which eDNA sequences the model attended to. This transforms the model from a black box into an hypothesis generator.

5.2 Concept-Based Attribution

Building on attention visualisation, concept-based attribution maps model features to known ecological processes. For example, if the model attributes spawning prediction to acoustic scattering layer depth combined with temperature gradient and chlorophyll-a concentration, this suggests a hypothesis: spawning is triggered by a specific combination of thermal stratification and primary productivity. This hypothesis is testable through targeted field observations.

5.3 AI as Discovery Engine

When attention visualisations validate what fishers and ecologists have known for generations, AI becomes a tool for amplifying traditional ecological knowledge. When it reveals unexpected patterns—signals that no one had considered—it becomes a tool for discovery. This dual function positions AI not as a replacement for human expertise, but as an extension of the scientific imagination.

6. The Frugal Sensor Revolution: Equity and Inclusion

6.1 The Data Divide

The most profound challenge facing AI-enabled ocean observation is not technical but distributional. High-resolution sensor networks are concentrated in the waters of industrialised nations. Tropical and subtropical waters—where biodiversity is highest, fisheries support the livelihoods of billions, and climate impacts are most acute—remain critically under-sampled [5].

This is not merely an inconvenience; it is an ethical failure. The Ocean Decade's promise of "science we need for the ocean we want" cannot be fulfilled if half the ocean remains data-dark.

6.2 Frugal Edge AI

Recent advances in Tiny Machine Learning (TinyML) and edge computing offer a pathway out of this impasse. TinyML enables low-power, low-cost, local AI processing on devices with minimal hardware requirements [2] [7]. As demonstrated in agricultural and healthcare contexts, edge AI can operate without internet connectivity, on consumer-grade hardware, with energy-efficient performance [2], [7], [5].

A case study from South Africa demonstrates the feasibility of such systems: a Raspberry Pi-based agricultural monitoring system runs Llama 3.2 LLM locally on CPU, without GPU requirements or cloud dependency [7]. The system provides real-time sensor analysis and natural language recommendations—all offline, all low-cost. Similar systems for hydrobiological monitoring are within immediate reach.

Low-cost, open-source sensor platforms have been validated in harsh environmental conditions. The INTEL-IRRIS IoT gateway, based on WaziGate framework—originally developed by the University of Pau—has been deployed for years in remote rural communities, operating fully in edge mode without external connectivity [6]. The system uses LoRa radio technology with advanced power management, allowing autonomous operation for over two years on AA batteries [6].

6.3 The Frugal Sensor Kit

Drawing on these precedents, we propose a frugal sensor kit for hydrobiological monitoring:

- **Hydrophone:** Low-cost USB or microphonic hydrophone (<\$50)
- **eDNA kit:** Filtering and preservation supplies for water samples (<\$30 per sample)

- **Physico-chemical probe:** Commercial-off-the-shelf sensors for temperature, pH, conductivity (<\$100)
 - **Edge computer:** Raspberry Pi or smartphone for local AI processing [7]
 - **Communication:** LoRa or WiFi for local data aggregation when available [6]
 - **AI model:** Lightweight transformer distilled from larger models for local inference [2]
- Total hardware cost: under \$200 per monitoring station. This is within reach of community-based organisations, fishers' cooperatives, and academic institutions in the Global South.

6.4 Community-Based Monitoring

The technological framework is necessary but insufficient. The social dimension is equally critical. Frugal sensors must be deployed with communities, not on them.

The FAD-based monitoring project in the Indian Ocean offers a model: "a citizen-science approach that builds upon the traditional and ecological knowledge of fishers, empowering fishers to promote community-based ocean monitoring and ocean sustainability" [5]. Data flows both ways: from sensors to communities (via dashboard visualisations and alerts) and from communities to models (via validation, correction, and local knowledge integration) [6]. The participatory TinyML approach, evaluated across 50 initiatives in 22 countries, found that such approaches "cultivate technical skills, stimulate grassroots entrepreneurship, and generate prototypes suited to low-resource environments" [2]. The key success factors are: "open educational resources, cross-sector partnerships, and community-driven problem formulation" [2]. These principles guide our proposed deployment strategy.

7. Limitations and Open Challenges

7.1 Data Sparsity in Tropical Waters

The few-shot learning approach mitigates but does not eliminate the challenge of limited training data in tropical systems. Transfer learning from data-rich regions introduces the risk of inductive bias: models trained in temperate systems may not generalise to tropical ecological dynamics. The solution lies in active learning—iteratively selecting the most informative samples for labelling, thereby maximising predictive value from limited resources.

7.2 Sensor Calibration and Drift

Sensor networks deployed in harsh marine environments face significant challenges of calibration drift, biofouling, and physical damage. Edge AI can assist through self-diagnostic algorithms that detect anomalies indicative of sensor malfunction. However, physical maintenance and periodic recalibration remain essential.

7.3 Privacy and Ethical Concerns

Passive acoustics, while biodiversity-focused, may inadvertently record human activity—shipping, construction, even speech—raising privacy concerns. Deployment protocols must include informed consent, data anonymisation, and transparent governance structures. The SEAMPHONI project's commitment to "support international marine policies and reconnect society with the ocean, even through artistic outreach" [4] suggests a model of responsible engagement.

7.4 Institutional Friction and Governance

The greatest barrier to adoption is not technological but institutional. Fisheries management is embedded in regulatory cycles—annual quotas, species-specific limits, jurisdictional boundaries—that are not designed for probabilistic, real-time forecasts. Integrating AI-derived intelligence into governance requires not just technological readiness, but institutional readiness: updated policies, trained personnel, and decision-making frameworks that can act on forecasts, not just post-mortems.

7.5 The Solutionism Trap

Finally, we caution against technological solutionism. AI is not a panacea for overfishing, habitat degradation, or climate change. It is a tool for seeing more clearly—but seeing does not automatically produce effective action. The Ocean Decade's success depends as much on political will, community engagement, and economic reform as on sensor networks and algorithms.

8. Conclusion: From Sonar to Sensors, from Data to Wisdom

The transition from sonar to sensors is not primarily technological. It is epistemological.

Sonar asks: "How many fish are there?" A legitimate question, but a limited one.

Sensors, integrated through AI, ask: "What is the ocean telling us about its own future?" This is a question of relationship, not just measurement.

The Ocean Decade challenges us to aspire to "science we need for the ocean we want." But that science will not come from bigger data alone. It will come from more inclusive intelligence—from listening to the ocean's signals across modalities, across scales, and across communities. The ocean has been speaking for billions of years. We are only now learning to listen—not with our ears alone, but with our intelligence, democratised and distributed.

The question is not whether we can afford to build this capacity. It is whether we can afford not to. For the communities whose livelihoods depend on the health of tropical waters—for the fishers of the Niger Delta, the Indian Ocean, and the Coral Triangle—the stakes could not be higher.

The ocean speaks. Let us finally learn to listen.

Acknowledgments

The author(s) sincerely appreciate the Tertiary Education Trust Fund (TETFund) and the Akwa Ibom State Polytechnic for the financial and institutional support in facilitating research.

References

- [1] Divergences and complementarities between eDNA versus passive acoustic marine mammal monitoring. *ScienceDirect*. 2025.
- [2] Costa, J.P., Basikolo, T., Zennaro, M., and Shawe-Taylor. (2026). Empowering Local Frugal Edge AI Innovation Based on Participatory Citizen Science in Developing Countries. *Sustainability*. 2026;18(10):5100.
- [3] Sousa-Lima, R.S., *et al.* Acoustic indices discriminate the main sound sources in the Caatinga soundscape. *Ecological Indicators*. 2021;129.
- [4] SEAMPHONI: Sensing and Evaluating offshore biodiversity with Acoustics, Molecular and Imagery tools for an intelligent digital twin. Horizon Europe Project, 2025-2029.
- [5] Integrated marine monitoring using Fish Aggregating Devices (FADs) as scientific platforms. ANR-23-EBIP-0001.
- [6] INTEL-IRRIS IoT Gateway Framework. WaziGate. University of Pau.
- [7] LLM-Driven Smart Agricultural IoT Raspberry Pi Sensor System. GitHub Repository. 2025.

UNDERFUNDING HUMAN POTENTIAL: A STUDY OF HEALTH, EDUCATION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN NIGERIA

Lovette German Mohammed

University Library

Federal University Lokoja, Nigeria

Abstract

Despite its abundant natural and human resources, Nigeria continues to record poor human development outcomes, largely due to chronic underinvestment in the health and education sectors. These sectors are central to human capital formation, productivity, and inclusive growth, yet public spending remains far below international benchmarks. In 2023, only 5.75% and 8.8% of the federal budget were allocated to health and education respectively, falling short of the Abuja Declaration target of 15% and UNESCO's recommended 26%. This study examines the extent, causes, and effects of underfunding in Nigeria's health and education sectors using an integrated research approach. Quantitative data were obtained from national budget reports, Human Capital Index (HCI) scores, and service delivery indicators, while qualitative data were drawn from policy documents and stakeholder interviews. The findings show that persistent underfunding has led to deteriorating infrastructure, shortages of skilled personnel, high maternal mortality, low school retention, and declining service quality, especially in underserved communities. Key drivers include weak public financial management, dependence on oil revenues, limited civic participation, and political instability, which undermine long-term investment planning. Nigeria's HCI score of 0.36 indicates that children are expected to achieve only 36% of their potential productivity, reflecting these systemic weaknesses. The study concludes that underfunding threatens the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) 3, 4, and 8 and worsens socioeconomic inequality. Addressing this challenge requires increased funding alongside reforms in fiscal governance, accountability, and intergovernmental coordination to support Nigeria's long-term development.

Keywords: underfunding, human capital, education, health, Nigeria, sustainable development

CHRONIC STRESS AND INFLAMMATION: THE NEUROIMMUNE AXIS AS A MECHANISM OF TRANSITION TO DEPRESSION

Fatima Bouizzal

Biology and Health Laboratory, Ibn Tofail University, Morocco

Abstract

Introduction: Depression is a major public health concern involving complex interactions between neuroendocrine and immune systems. Chronic stress may contribute to the development of depression through persistent activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and immune dysregulation.

Objective: This review aims to highlight the role of the neuroimmune axis in the transition from chronic stress to depressive disorders, focusing on inflammatory mechanisms.

Methods: A narrative review of recent literature was conducted, focusing on the relationships between chronic stress, neuroendocrine regulation, inflammation, and central nervous system function, with particular attention to pro-inflammatory cytokines and microglial activation.

Results: Chronic stress may promote sustained neuroendocrine and immune activation, leading to increased levels of pro-inflammatory mediators such as IL-6, IL-1 β , and TNF- α . Persistent inflammation may contribute to microglial activation, impaired neurotransmission and synaptic plasticity, and alterations in brain circuits involved in mood regulation. Dysregulation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis may further reinforce this inflammatory state, creating a bidirectional interaction between stress and inflammation that increases vulnerability to depression.

Conclusion: The neuroimmune axis represents an important pathway linking chronic stress to depression. Understanding these mechanisms may contribute to the identification of inflammatory biomarkers and novel therapeutic targets for prevention and personalized management of depressive disorders.

Keywords: Chronic stress; Inflammation; Neuroimmune axis; Depression; Cytokines

NEUROPROTECTIVE MECHANISM OF ETHANOLIC LEAF EXTRACT OF *BRASSICA OLERACEA L. VAR ACEPHALA* IN ARSENIC-INDUCED FRONTAL CORTICAL DEGENERATION

AIKPITANYI IKPONMWOSA

Department of Physiology, School of Basic Medical Sciences, College of Health Sciences, Igbinedion University Okada, Edo State, Nigeria.

IYERE TOMBRAVE BLESSED

Department of Physiology, School of Basic Medical Sciences, College of Health Sciences, Igbinedion University Okada, Edo State, Nigeria.

IGBAYILOLA YUSUFF DIMEJI

Department of Physiology, College of Medicine, Federal University of Health Sciences Ila-Orogun, Osun State, Nigeria.

ABSTRACT

Background: Arsenic crosses the blood-brain barrier and disrupts neuronal homeostasis through oxidative stress, neuroinflammation, mitochondrial dysfunction, neurotransmitter imbalance, and apoptosis. *Brassica oleracea L. var. acephala* (Kale) contains phytochemicals, vitamins, minerals, and dietary fibre-derived metabolites that may collectively support antioxidant and anti-inflammatory defence.

Aim: This study evaluated the neuroprotective mechanism of *Brassica oleracea L. var. acephala* ethanolic leaf extract (KLE) on sodium arsenite (NaAsO_2) induced frontal cortical neurotoxicity in male Wistar rats.

Methods: Twenty (20) male Wistar rats (160- 180 g) were grouped as ($n = 5/\text{group}$): control, NaAsO_2 -only toxicant control, $\text{NaAsO}_2 + \text{KLE } 200 \text{ mg/kg}$, and $\text{NaAsO}_2 + \text{KLE } 400 \text{ mg/kg}$. NaAsO_2 was administered orally at 5 mg/kg body weight for 2 weeks, and KLE was administered orally for 2 weeks after exposure to NaAsO_2 . Post-experiment, the frontal cortex was harvested for biochemical assessment of neurotransmitter-related markers, inflammatory markers, apoptotic activity, and oxidative stress indices. The data were analyzed using one-way ANOVA, followed by a Tukey post hoc test, in GraphPad Prism, and mean differences between groups were considered significant at $P < 0.05$.

Results: NaAsO_2 exposure reduced frontal cortical 5-HT, dopamine, SOD, and GSH, while increasing AChE activity, $\text{TNF-}\alpha$, $\text{IL-1}\beta$, caspase-3, and MDA. Treatment with KLE ameliorated most NaAsO_2 -induced biochemical alterations. The 200 mg/kg dose produced a more consistent restoration of biochemical markers than the 400 mg/kg dose, although the 400 mg/kg dose produced a comparable improvement in $\text{IL-1}\beta$.

Conclusion: KLE attenuated NaAsO_2 induced biochemical neurotoxicity in the frontal cortex of male Wistar rats. The protective response appeared dose-sensitive rather than strictly dose-dependent.

Keywords: arsenic; Kale Leaf; frontal cortex; oxidative stress; neuroinflammation

ISOQUINOLINE DERIVATIVES FROM 1,3-DIPOLAR CYCLOADDITIONS: A DFT AND DOCKING APPROACH TOWARD ALZHEIMER'S AND PARKINSON'S TREATMENT

Elorchi Soukaina

Abdoul-Hakim

El alaoui el abdallaoui Habib

Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco

Mimoun Belhadi

Mohammed Chafi

Mohammed Salah

LP2MGI, Higher School of Technology, Hassan II University of Casablanca, P.O. Box 8012, 20000, Oasis, Morocco

Abstract

Alzheimer's disease and Parkinson's disease are among the leading neurodegenerative disorders requiring the development of new therapeutic approaches. In this study, a series of isoquinoline derivatives resulting from 1,3-dipolar cycloaddition reactions was investigated using an approach combining density functional theory (DFT) and in silico molecular modeling. DFT calculations were used to evaluate the electronic properties, stability, and reactivity of the compounds. Molecular docking studies were then conducted to analyze their affinity for biological targets involved in neurodegenerative diseases. The results show favorable ligand–protein interactions and a satisfactory preliminary pharmacokinetic profile. These observations suggest that certain isoquinoline derivatives could be promising candidates for the development of new therapeutic agents against Alzheimer's and Parkinson's diseases.

Keywords: Isoquinoline, DFT, molecular docking, in silico modeling, Alzheimer's, Parkinson's.

References (optional)

- [4] F. Stocchi, D. Bravi, A. Emmi, A. Antonini, Parkinson disease therapy: current strategies and future research priorities, *Nat Rev Neurol* 20 (2024) 695–707. <https://doi.org/10.1038/s41582-024-01034-x>.
- [5] J. Li, Y. Wu, S. Dong, Y. Yu, Y. Wu, B. Xiang, Q. Li, Research Progress on Neuroprotective Effects of Isoquinoline Alkaloids, *Molecules* 28 (2023) 4797. <https://doi.org/10.3390/molecules28124797>.

ASSESSMENT OF KAOLIN AS AN ECO-FRIENDLY PARTIAL ALTERNATIVE TO TITANIUM DIOXIDE IN DECORATIVE PAINTS

Zubairu Umar Muazu

Chemical Engineering Department, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria.

Abdullahi Yahaya

Chemical Engineering Department, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria.

Kazeem Ibraheem Ajadi

Chemical Engineering Department, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria.

ORCID ID: [HTTP://ORCID.ORG/0000-0002-2474-881X](http://ORCID.ORG/0000-0002-2474-881X)

Adebisi Aliu Gbolahan

Chemical Engineering Department, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria.

Chindo Aisha Abdullah

Chemical Engineering Department, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria.

ABSTRACT

This study investigated the potential of treated and untreated kaolin as sustainable alternatives to titanium dioxide (TiO_2) in the production of water-based decorative paints. Five paint formulations were prepared, including a TiO_2 control, 100% treated kaolin, 100% untreated kaolin, and two 50:50 blends of TiO_2 with treated and untreated kaolin. The paints were evaluated for key properties such as viscosity, gloss, opacity, and pH. The results showed that increasing the proportion of kaolin increased paint viscosity but reduced gloss and opacity, with treated kaolin consistently exhibiting better performance than untreated kaolin due to the improved surface characteristics achieved through acid activation. All formulations maintained acceptable pH values, indicating good chemical stability. Furthermore, partial substitution of TiO_2 with treated kaolin significantly reduced pigment costs and the environmental impact associated with TiO_2 production while maintaining satisfactory paint quality. Overall, the findings demonstrate that treated kaolin is a technically feasible, economically viable, and environmentally friendly partial replacement for titanium dioxide in decorative paint formulations, offering a promising approach for producing high-quality, low-cost paints using locally available materials.

EVALUATION OF THE PHENOLIC POTENTIAL AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF WILD AND CULTIVATED CAROB TREE (*CERATONIA SILIQUA* L.) LEAVES

Oussama SMAILI

Laboratory of Genetic Resources and Biotechnologies (LRG-B), National Higher School of agronomy (ENSA), Avenue Hassan Badi-El Harrach, 16000 Algiers, Algeria

Wafa YAHIAOUI

Department of Agronomic Sciences, Boumerdes University, Boumerdes 35000, Algeria

Hana KAZOULA

Department of Agronomic Sciences, Boumerdes University, Boumerdes 35000, Algeria

Nadjiba CHABOUTI

Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physicochemistry of Biological Materials and Biodiversity, Boumerdes University, Boumerdes 35000, Algeria

Abstract:

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) is a Mediterranean species recognized for its high phenolic content and biological potential. This study aims to compare the total polyphenol content (TPC) and flavonoid content (FC) of wild and cultivated carob leaves, and to evaluate the antimicrobial activity of their hydroethanolic extracts. TPC and FC were quantified by spectrophotometry. Antibacterial activity was evaluated using the well diffusion method, and antifungal activity by agar dilution in PDA medium (50, 100, and 150 mg/ml) against *Alternaria alternata* and *Fusarium* sp.

The results show that cultivated leaves contain significantly higher TPC (30.47 ± 0.77 mg GAE/g) and FC (13.92 ± 0.13 mg QE/g) than wild leaves (20.09 ± 0.97 mg GAE/g and 11.05 ± 0.29 mg QE/g; $p < 0.0001$). Regarding antifungal activity, mycelial growth inhibition increased with concentration, reaching a maximum at 150 mg/ml. At this concentration, wild leaf extracts induced higher inhibition rates than cultivated leaves, reaching 15.41% versus 9.06% for *A. alternata*, and 19.29% versus 13.41% for *Fusarium* sp.

These results highlight the phenolic richness of *Ceratonia siliqua* L. and its antifungal potential. Carob leaves represent a promising source of bioactive compounds for the development of biocontrol strategies against plant pathogens.

Keywords: *Ceratonia siliqua* L., carob tree, polyphenols, flavonoids, antifungal activity, biocontrol.

STRUCTURAL EQUATION MODELING OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN STRESS, BURNOUT, AND DEPRESSION

Fatima Bouizzal

Biology and Health Laboratory, Ibn Tofail University, Morocco

Abstract

Introduction: Occupational stress is an important determinant of mental health and may contribute to the development of burnout and depressive symptoms. Although these three dimensions are closely interconnected, the underlying relationships and mechanisms remain complex. Structural Equation Modeling (SEM) provides a useful approach for simultaneously examining direct and indirect relationships between these constructs.

Objective: To investigate the structural relationships between stress, burnout, and depression, and to determine whether burnout may act as a potential mediator in the association between stress and depressive symptoms.

Methods: A [cross-sectional/prospective] study was conducted among [study population] using validated scales to assess stress, burnout, and depressive symptoms. A structural equation model was developed to examine the relationships between the latent constructs. Model fit was assessed using appropriate goodness-of-fit indices. Direct, indirect, and total effects were estimated to explore the potential mediating role of burnout in the relationship between stress and depression.

Results: The analyses showed significant associations between stress, burnout, and depressive symptoms. The structural model enabled the simultaneous assessment of the effects of stress on burnout and depression, as well as the effect of burnout on depression. Analysis of indirect effects further examined the hypothesis that burnout may partially mediate the association between stress and depressive symptoms. [Insert the main statistical findings here, including β coefficients, confidence intervals, p-values, and model-fit indices.]

Conclusion: Structural Equation Modeling provides a valuable framework for understanding the complex interplay between stress, burnout, and depression. Identifying direct and indirect pathways between these dimensions may help inform targeted prevention and intervention strategies for mental health, particularly among populations exposed to high levels of occupational stress.

Keywords: Stress; Burnout; Depression; Structural Equation Modeling; Mental health

THE IMPACT OF GOVERNMENT HEALTH EXPENDITURE ON ECONOMIC GROWTH IN NIGERIA. 1981 – 2022)

Ebenezer Akinniye AKINYEMI

Kehinde Timothy AKANGBE

Ladoke Akintola University of Technology, Ogbomoso. Nigeria.

The broad objective of this study is to examine the impact of government health expenditure on economic growth in Nigeria covering the period 1981 – 2022. Economic growth is dependent variable and is represented by real gross domestic (GDPG), Independent variable includes government health expenditure (HGEXP), gross capital formation (GCFC), foreign direct investment (FDI), inflation rate (INF), trade openness (OPEN). The research questions are: is there any significant relationship between health expenditure and economic growth in Nigeria? what is the effect of capital health expenditure on economic growth in Nigeria? What is the effect of recurrent health expenditure on economic growth in Nigeria? What is the combined effect of capital and recurrent health expenditure on economic growth in Nigeria? The specific objectives of the study are to: assess the relationship between government health expenditure and economic growth in Nigeria; analyze the effect of capital health expenditure on economic growth in Nigeria; examine the effect of recurrent health expenditure on economic growth in Nigeria; determine the combined effect of capital and recurrent health expenditure on economic growth in Nigeria.

The study analyze annual observations covering the selected study period. Secondary data are utilized and sourced from World Bank, Central Bank of Nigeria (CBN), World Health Organization (WHO), Health Expenditure Database National Bureau of Statistics, and The use of time-series data enables the researcher to investigate the behaviour of health expenditure and economic growth over time and determine whether changes in health expenditure are associated with changes in the level of economic growth. The study is anchored on the Human Capital Theory, which provides the theoretical foundation for explaining the relationship between health expenditure and economic growth in Nigeria. The functional form of the model is generally stated as follows: $GDPG_t = f(HGEXP_t, GCFC_t, FDI_t, INF_t, OPEN_t)$.

The study employs different econometric techniques, including fully modified ordinary least square (FM-OLS), generalized method of moments (GMM), autoregressive distributed lag (ARDL), ordinary least square (OLS). The estimation shows that government health expenditure (HGEXP) has a positive but statistically insignificant effect/relationship on economic growth in the long run.

The results further showed a negative relationship between inflation and economic growth, with the effect being statistically significant in both (OLS and FM-OLS) estimations. This means that persistent inflation may undermine economic growth by reducing purchasing power, discouraging investment and creating uncertainty within the economy. Gross capital formation and trade openness have positive relationship with economic growth. In relation to the objective of determining the combined effect of capital and recurrent health expenditure on economic growth, OLS result provides evidence that the explanatory variables are jointly significant. However the available OLS output identifies government health expenditure as (HGEXP) but does not separately report capital health expenditure and recurrent health expenditure as CHEXP and RHEXP.

Recommendations – The Nigerian government should increase the efficiency of health expenditure by ensuring that available funds are efficiently utilized. Greater attention should be given to capital investment in the health sector. Investments in health infrastructure, hospitals, medical equipment, primary health care centers, laboratories should be improved.. Government should encourage productive foreign direct investment by creating enabling environment

Key Words: Recurrent health expenditure, gross capital formation, trade openness, Inflation

ACACIA TORTILIS SSP. RADDIANA: EARLY THERAPEUTIC EFFECTS IN PULMONARY FIBROSIS

Lansine Diakité

Laboratory of Pharmacology, Neurobiology, Anthropobiology and Environment; Faculty of Science; Cadi Ayyad University; XXM+JRM, Bd Prince Moulay Abdellah, Marrakech 40000, Morocco

Abdeljalil Elmahdaoui

Laboratory of Pharmacology, Neurobiology, Anthropobiology and Environment; Faculty of Science; Cadi Ayyad University; XXM+JRM, Bd Prince Moulay Abdellah, Marrakech 40000, Morocco

Mohamed El Hassan Bouchari

Laboratory of Agro-Food, Biotechnologies and Valorization of Plant Bioresources, Department of Biology, Faculty of Science Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakesh 40000, Morocco

Laboratory of Agro-industrial and Medical Biotechnologies, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, B.P. 523, 23000 Beni Mellal, Morocco

Fatima-ezzahra Derdar

Laboratory of Chemistry-Biochemistry, Environment, Nutrition and Health, Faculty of Medicine and Pharmacy, Hassan II University of Casablanca, B.P 5696, Casablanca, Morocco

Laboratory of Sustainable Development and Health Research, Faculty of Sciences and Techniques, Cadi Ayyad University, Marrakech 40000, Morocco

Abdelilah Meddich

Center for Agrobiotechnology and Bioengineering. CNRST accredited research unit (Center AgroBiotech-URL-CNRST-05), Cadi Ayyad University, Marrakesh 40000, Morocco

African Sustainable Agriculture Research Institute (ASARI), University Mohammed VI Polytechnic (UM6P), Laayoune 70000, Morocco

Zineb Lachhab

Department of Drug Sciences - Faculty of Medicine and Pharmacy of Marrakech, Cadi Ayyad University, 274 Semlalia, Marrakech 40000; Morocco

Zahra Sokar

Laboratory of Pharmacology, Neurobiology, Anthropobiology and Environment; Faculty of Science; Cadi Ayyad University; XXM+JRM, Bd Prince Moulay Abdellah, Marrakech 40000, Morocco

Introduction: This study investigated the antifibrotic potential of *Acacia tortilis* ssp. *raddiana* leaf extract and gum in bleomycin-induced pulmonary fibrosis. **Methods:** Pulmonary fibrosis was induced by bleomycin in Swiss albino mice. From day 7, animals received daily treatment with the leaf extract or gum for 14 days. Body weight, oxidative stress, pulmonary collagen deposition, and histopathological alterations were assessed. **Results:** Both treatments attenuated bleomycin-induced body weight loss, oxidative damage, pulmonary collagen accumulation, and inflammatory histopathological alterations. **Conclusion:** *Acacia tortilis* ssp. *raddiana* exhibits promising antifibrotic activity, potentially mediated by its antioxidant and anti-inflammatory properties.

HEALTH PROFESSIONALS' KNOWLEDGE OF MEDICINAL PLANT USE FOR CUTANEOUS LEISHMANIASIS IN MARRAKECH-SAFI REGION, MOROCCO

Mohammed-Yassine Takzima

Laboratory of Water Sciences, Microbial Biotechnologies, and Natural Resources Sustainability (AQUABIOTECH), Faculty of Sciences-Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

Mohamed Echchakery

Laboratory of Water Sciences, Microbial Biotechnologies, and Natural Resources Sustainability (AQUABIOTECH), Faculty of Sciences-Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

Laboratory of Health Sciences and Technologies, Epidemiology and Biomedical Unit, Hassan Premier University, Higher Institute of Health Sciences, Settati, Morocco.

Mohamed Hafidi

Laboratory of Water Sciences, Microbial Biotechnologies, and Natural Resources Sustainability (AQUABIOTECH), Faculty of Sciences-Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

Loubna El Fels

Laboratory of Water Sciences, Microbial Biotechnologies, and Natural Resources Sustainability (AQUABIOTECH), Faculty of Sciences-Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

ABSTRACT

Medicinal plants remain widely used by local communities for the management of cutaneous leishmaniasis in Morocco. This study aimed to assess health professionals' knowledge of medicinal plants used by communities to treat cutaneous leishmaniasis in the Marrakech–Safi region of central Morocco. A cross-sectional survey was conducted among 516 health professionals from eight provinces. Data were collected on their awareness of community medicinal plant use, perceived reasons for these practices, and the plant species, parts used, and preparation methods reported. Health professionals reported 18 medicinal plant species belonging to 11 botanical families. Lamiaceae was the most represented family, accounting for 33% of the recorded species. The most frequently cited plants were *Ocimum basilicum* L. (24.77%), *Artemisia herba-alba* (14.68%), *Marrubium vulgare* L. (8.72%). Leaves were the most commonly reported plant part, while cataplasm and decoction were the principal preparation methods. These findings highlight health professionals' awareness of persistent ethnomedicinal practices and support further pharmacological, toxicological, and clinical evaluation of the reported plants.

Keywords: Cutaneous leishmaniasis, Medicinal plants, Health professionals, Traditional medicine, Morocco

FROM AI-DRIVEN MARKETING TO PHYGITAL CUSTOMER EXPERIENCE: HOW GENERATIVE AI REDEFINES THE CUSTOMER JOURNEY

Dr. Samir MERADI

Associate Professor (B) in Marketing

Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbès, Algeria

ORCID: 0000-0003-3308-3204

Abstract

The rapid development of Generative Artificial Intelligence (GenAI) is transforming contemporary marketing and redefining the way firms interact with customers. Unlike traditional artificial intelligence systems that primarily rely on prediction, classification, or recommendation, GenAI can generate new content, engage in conversational interactions, and support increasingly personalized forms of communication. At the same time, customer journeys have become increasingly complex, as consumers move between websites, mobile applications, social media, physical stores, and other service touchpoints. This transformation has contributed to the emergence of phygital customer experience, which integrates physical and digital environments into a more continuous customer journey. This study explores how GenAI can contribute to a seamless phygital customer experience while maintaining customer trust and authenticity. An integrative conceptual literature review is adopted, focusing primarily on recent research published between 2022 and 2026 concerning Generative AI, consumer behavior, customer experience, customer journey, phygital transformation, personalization, customer engagement, and human–technology interaction. The analysis is conceptually structured around the Stimulus–Organism–Response (S-O-R) perspective. The literature indicates that GenAI can enhance customer journeys through real-time personalization, conversational interaction, predictive recommendations, AI-generated content, and continuity across digital and physical touchpoints. However, excessive automation, lack of transparency, and reduced human interaction may negatively affect authenticity and customer trust. The study therefore proposes a human-centered phygital perspective in which GenAI acts as an orchestrator of customer interactions rather than simply an automation tool. The research contributes to contemporary digital and service marketing literature by highlighting the importance of balancing technological capabilities with authenticity, transparency, and meaningful human interaction.

Keywords: Generative Artificial Intelligence; Phygital Customer Experience; Customer Journey; Digital Marketing; Personalization; Customer Engagement; Authenticity; Customer Trust.

1. Introduction

The rapid development of Generative Artificial Intelligence (GenAI) has created a significant transformation in contemporary marketing. Artificial intelligence is no longer limited to predictive analytics, recommendation systems, customer segmentation, or automated decision-making. The emergence of generative systems capable of producing text, images, audio, video, and conversational responses has expanded the role of artificial intelligence within marketing activities. GenAI is increasingly becoming part of customer communication, content creation, service delivery, product development, and customer interaction (Grewal et al., 2025).

This transformation is particularly important because the relationship between companies and customers is becoming increasingly digital and interactive. Consumers can now encounter a brand through multiple touchpoints before, during, and after a purchase. A customer may discover a product through social media, search for additional information on a website, interact with a chatbot, visit a physical store, purchase through a mobile application, and subsequently communicate with the company through digital customer service. Consequently, the customer journey is increasingly characterized by multiple interactions that cross the boundaries between digital and physical environments.

This evolution has contributed to the emergence of the concept of phygital experience, which combines physical and digital dimensions of customer interaction. The term phygital refers to the increasing integration of physical and digital resources, contexts, and experiences. Mele et al. (2023), through a systematic literature review, identify objects and applications, physical and digital contexts, customer journeys, and shopping or retail experiences as important dimensions of phygital transformation.

The emergence of GenAI introduces a new dimension to this transformation. Unlike conventional digital technologies, GenAI can dynamically generate responses and content according to the interaction with the customer. This means that AI can potentially become more than a technological tool operating at an individual touchpoint. It can become a mechanism for coordinating and personalizing interactions throughout the customer journey.

For example, a customer could interact with an AI assistant before visiting a store, receive personalized recommendations based on previous interactions, and then continue the experience in a physical environment. In this scenario, digital and physical experiences are not separate. Instead, they become interconnected components of a single customer journey.

However, the increasing use of GenAI also raises important questions concerning trust, authenticity, transparency, and human interaction. Artificial intelligence may improve efficiency and personalization, but an excessive reliance on automated interactions could potentially weaken the relational dimension of customer experience. Hermann and Puntoni (2024) emphasize that the transition from predictive AI to generative AI creates new questions concerning consumer behavior and the ways consumers respond to AI systems.

Therefore, the central issue is not simply whether companies should adopt GenAI, but how GenAI should be integrated into the customer journey. Based on this context, this study addresses the following research question: How can Generative AI contribute to a seamless phygital customer experience while maintaining customer trust and authenticity?

The study has four main objectives. First, it seeks to explore the role of GenAI in the contemporary customer journey. Second, it aims to identify the main mechanisms through which GenAI can connect digital and physical touchpoints. Third, it examines the potential benefits and risks of AI-enabled customer interactions. Finally, it proposes a human-centered perspective for understanding the future of GenAI-enabled phygital marketing.

2. Methodology

This research adopts an integrative conceptual literature review approach. This methodology is appropriate because the intersection between Generative AI, phygital experience, and customer journey remains an emerging research area. Rather than testing a specific causal model using primary data, the objective is to integrate existing theoretical contributions and develop a conceptual interpretation of the phenomenon.

The review focuses on recent academic contributions addressing Generative AI, artificial intelligence and consumer behavior, customer experience, customer journey, phygital transformation, personalization, customer engagement, and human–technology interaction. The research particularly considers publications from the period 2022–2026, with emphasis on recent contributions concerning the emergence of GenAI and the transformation of physical and digital customer environments.

The first literature stream concerns artificial intelligence and marketing. Grewal et al. (2025) argue that GenAI is likely to influence marketing communication, content creation, customer interaction, sales, services, and product development. The second stream concerns AI and consumer behavior. Hermann and Puntoni (2024) distinguish between predictive AI and GenAI and identify new research questions regarding consumer decision-making and responses to AI. The third stream concerns phygital transformation. Mele et al. (2023) identify the customer journey as a central dimension of phygital transformation.

The study uses the Stimulus–Organism–Response (S-O-R) framework as a conceptual lens. GenAI-enabled marketing capabilities can be understood as potential stimuli, including personalized content, conversational interfaces, recommendations, automated assistance, and adaptive communication. These stimuli may influence internal perceptions such as usefulness, convenience, relevance, trust, authenticity, and engagement, which may subsequently affect behavioral responses such as continued interaction, satisfaction, purchase intention, loyalty, or avoidance.

3. Results

The first major finding concerns the role of GenAI in personalization. Traditional personalization systems often rely on predefined rules, historical data, or recommendation algorithms. GenAI introduces a greater capacity for producing dynamic content adapted to specific situations and customer needs. Grewal et al. (2025) emphasize that GenAI can influence how marketers communicate with customers and how marketing content is created and delivered.

From a customer journey perspective, this capability can be particularly valuable because customers do not necessarily have identical information needs at every stage. A customer in the awareness stage may need educational information, while a customer closer to purchase may require comparisons or recommendations. After purchase, the customer may require assistance or personalized service. GenAI can potentially adapt communication according to these different stages.

A second important result concerns conversational interaction. Traditional digital interfaces generally require customers to search, click, navigate, and interpret information. Generative AI can provide a more conversational interface in which customers express their needs using natural language. This can potentially reduce information-search effort and make interactions more adaptive.

Hermann and Puntoni (2024) highlight the importance of understanding how consumers respond to the increasing capabilities of GenAI. From a marketing perspective, conversational

AI may therefore contribute to a more interactive customer journey. Nevertheless, the effectiveness of such interactions depends on the quality of AI-generated responses and on customers' perceptions.

A third result concerns the ability to connect different customer touchpoints. The phygital literature demonstrates that customer experience increasingly emerges from interaction between physical and digital environments. Mele et al. (2023) identify the customer journey as a central dimension of phygital transformation.

GenAI may reinforce this transformation by providing an intelligent layer capable of processing information and generating interactions across multiple channels. An AI assistant can potentially help a customer before a store visit, provide personalized recommendations during the purchase process, and continue providing assistance after the purchase. The key value is therefore continuity: the customer does not experience a collection of disconnected interactions but potentially a more integrated journey.

Another potential contribution concerns customer engagement. Interactive and personalized AI systems can make customer interactions more relevant and responsive. However, engagement should not be interpreted simply as the number of interactions. A customer may interact frequently with a system without developing a positive relationship with the brand. Therefore, the quality and relevance of interaction remain more important than interaction frequency alone.

4. Discussion

The findings suggest that the role of GenAI in marketing should be understood beyond automation. Traditional automation aims to perform specific tasks faster or more efficiently. GenAI, in contrast, can potentially participate in multiple stages of the customer journey by generating content, responding to customers, and adapting interactions. This suggests the concept of customer journey orchestration.

In this perspective, GenAI acts as an intelligent layer connecting different touchpoints and helping firms coordinate customer interactions. Such an approach is consistent with the broader phygital transformation identified by Mele et al. (2023), in which physical and digital resources become increasingly interconnected.

Despite the increasing capabilities of AI, human interaction remains important. Customers do not always seek efficiency. In some situations, they seek empathy, reassurance, understanding, and relational connection. Therefore, replacing all human interactions with AI may create a less satisfactory experience, particularly in complex or emotionally important service encounters.

Grewal et al. (2025) emphasize the importance of human augmentation in the implementation of GenAI in marketing. Organizations should therefore determine which tasks are best supported by AI and which require human involvement.

Another important issue is authenticity. Customers may value personalization, but they may also want to know whether the interaction is genuinely human or AI-generated. If AI becomes invisible or overly pervasive, customers may have difficulty understanding the nature of their relationship with the brand.

Companies should therefore communicate transparently about AI use when appropriate and ensure that AI-generated interactions remain consistent with the brand's identity and values. Trust is particularly important because customer journeys increasingly involve the collection and processing of personal information.

The findings support the development of a human-centered phygital strategy. GenAI can provide personalization, speed, convenience, and continuity. Human employees can provide empathy, judgment, reassurance, creativity, and relational value. Physical environments can provide sensory and social experiences that cannot necessarily be reproduced through digital interfaces.

The objective should not be to maximize the use of AI, but to maximize customer value through an intelligent combination of AI and human capabilities.

5. Conclusion

Generative AI is becoming an important force in the transformation of contemporary marketing. Its ability to generate content, personalize interactions, support conversational communication, and process customer information creates new opportunities for companies to redesign customer journeys.

At the same time, the emergence of GenAI coincides with the development of phygital environments in which physical and digital experiences are increasingly interconnected. The literature on phygital transformation demonstrates that customer journeys represent one of the central areas affected by this evolution (Mele et al., 2023).

This study proposes that GenAI can contribute to this transformation by acting as an orchestrator of customer interactions across multiple touchpoints. However, technological sophistication alone does not guarantee a superior customer experience. Personalization must be accompanied by relevance. Automation must be balanced with human interaction. Digital convenience must coexist with authenticity. AI implementation must be supported by transparency and trust.

The central proposition of this research is therefore that the future of phygital customer experience should be human-centered rather than technology-centered. GenAI should not simply replace existing interactions. It should enhance them, connect them, and create additional value for customers.

Future empirical research could test this conceptual perspective through quantitative surveys, experiments, qualitative interviews, or customer journey analysis in sectors such as retail, tourism, banking, healthcare services, and e-commerce.

References

- Del Vecchio, P., Secundo, G., & Garzoni, A. (2023). Phygital technologies and environments for breakthrough innovation in customers' and citizens' journey: A critical literature review and future agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122342. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122342>
- Grewal, D., Satornino, C. B., Davenport, T., & Guha, A. (2025). How generative AI is shaping the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 53(3), 702–722. <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01064-3>
- Hermann, E., & Puntoni, S. (2024). Artificial intelligence and consumer behavior: From predictive to generative AI. *Journal of Business Research*, 180, 114720. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114720>
- Mele, C., Russo Spena, T., Marzullo, M., & Di Bernardo, I. (2023). The phygital transformation: A systematic review and a research agenda. *Italian Journal of Marketing*, 2023, 323–349. <https://doi.org/10.1007/s43039-023-00070-7>
- Bartoli, C., Nosi, C., Mattiacci, A., & Bertuccioli, F. (2023). Consumer–brand relationship in the phygital age: A study of luxury fashion. *Italian Journal of Marketing*, 2023, 429–450. <https://doi.org/10.1007/s43039-023-00081-4>

CRISPR-BASED TECHNOLOGY AS AN ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE STRATEGY FOR THE BIOCONTROL OF IMPORTANT AGRICULTURAL INSECT PESTS

Azorji JohnPaul Nnawuike

Igwe Charles Ekene

Iheanacho Juliet Nkeiruka

Edore Pamela Umunna

Ubochi Kingsley Chinedu

Igbokwe Moses

Nwachukwu Udodi Chibuike

Nzenwa Peter Odinaka

Meziobi Thelma Chikerenma

Department of Biotechnology, University of Agriculture and Environmental Science,
Umuagwo Imo State Nigeria

Department of Environmental Resource Management, Michael Okpara University of
Agriculture Umudike, Abia State.

Department of Biology, University of Agriculture and Environmental Science, Umuagwo Imo
State Nigeria

Department of Biology, Alvan Ikoku Federal University of Education Owerri Imo State
Nigeria

Abstract

Insect pests pose a serious threat to crop yield and food security globally. Over reliance on hazardous synthetic chemical control measures have been associated with environmental pollution and human health risk and reduces natural enemy populations. This increases the risk of pest resurgence and secondary outbreaks, ultimately reducing the long-term effectiveness of pest management. New, species-specific and environmentally sustainable control strategies are urgently needed to reduce reliance on chemical pesticides and improve the resilience of agricultural systems. The Precision-Guided Sterile Insect Technique (pgSIT) is an emerging CRISPR-based technology designed to generate sterile male insects through the simultaneous disruption of key fertility and sex-determination genes. CRISPR-Cas technology represents a transformative advancement, enabling precise genome modifications for functional genomics, population suppression, gene drive systems, and the development of pest-resistant crop varieties. Due to its specificity and easy handling, CRISPR/Cas9-based genome editing can be utilized in CRISPR/Cas9-like systems, thereby making the pests susceptible to various insecticides, compromising the reproductive fitness of the pest, hindering the metamorphosis of the pest, and there have been many other benefits. PgSIT mechanistically relies on a dominant genetic technology that enables simultaneous sexing and sterilization, facilitating the release of eggs into the environment ensuring only sterile adult males emerge. This approach offers a targeted alternative to chemical pesticides for the suppression of agricultural insect pests. Despite its promise, the efficiency, scalability and robustness of pgSIT systems require further optimization before they can be deployed across diverse pest species and real-world agricultural settings. This article emphasized on the efficiency of Precision-Guided Sterile Insect Technique (pgSIT) as CRISPR/Cas9 and proposes potential research ideas in integrated pest management. The review proposes improvement in pgSIT performance by refining

CRISPR construct design, enhancing promoter specificity, and identifying gene targets that maximize sterility and male bias while minimizing fitness costs. Using state-of-the-art functional genomics, transgenesis and molecular tools, the technology can enhance the genetic and physiological effects of pgSIT components in selected model and applied pest species. It will also explore engineering strategies to increase transgene stability, improve egg-to-adult penetrance of the pgSIT phenotype, and facilitate scaling for mass-rearing. Finally, the review emphasizes future prospects and research priorities for integrating biotechnological innovations into integrated pest management (IPM) programs to achieve Sustainable Development Goals (SDGs) 2 (zero hunger) and 3 (good health and well-being).

Keywords: Precision-Guided, Sterile, Insect, pest, Agriculture, CRISPR, Biocontrol

THE ROLE OF ROBOTICS IN TRANSFORMING THE AUTOMOBILE INDUSTRY: ENHANCING EFFICIENCY, QUALITY, AND SAFETY

Raghav Sivakumar
United World Academy

Abstract

This paper looks into the use of robotics in the automobile industry and its impact on manufacturing efficiency, quality, worker safety, and production costs. Specifically it examines efficiency: robotics has accelerated production speeds while maintaining near-perfect precision; Assessing safety: robots have reduced workplace injuries, exposure to toxic fumes, and ergonomic strains; and evaluating production cost: robots reduce costs through various means, such as minimizing material scrap and operating expenses. The study explores various types and applications of robotic systems used in vehicle production. We look into how robots have transformed the industry and some of the crucial roles they play in the industry. This study takes on a qualitative literature review supported by industrial performance data to evaluate the impact of robotics on productivity, manufacturing quality, worker safety, and production cost. The findings indicate that robotics has become a strategic competitive advantage in modern automobile manufacturing.

Keywords : robotics; automobiles; industry; safety; workplace; vehicles; performance; production

BIOTECHNOLOGICAL FOOD SYSTEMS AND PUBLIC HEALTH 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

Aim:

The current paper aims at analyzing the interconnection between food production through biotechnological means and human well-being in the novella *The Windup Girl* by Paolo Bacigalupi written in 2009. Contrary to the approach that perceives biotechnology as nothing but the technology used in order to address food shortage problem, the current study analyses the way Bacigalupi represents food systems based on genetically modified products as the reason for biological susceptibility in case scientific development is controlled by corporate forces.

Materials and Methods:

This paper utilizes qualitative textual analysis of *The Windup Girl*, with an emphasis on the depiction of genetic manipulation, agricultural pathogens, food production, and the vulnerabilities of human beings within the context of the book. This will be done by employing an interdisciplinary approach to the analysis of biotechnology through environmental humanities.

Findings:

It is evident from the analysis that the novel creates a connection between food insecurity and public health vulnerabilities as both of them emerge as the outcomes of food systems controlled by technology. Genetic modification of plants, although seen as a solution to the problem of agricultural instability, introduces new forms of biological risks through diseases, ecological imbalance, and dependency on corporate food systems. Thus, it becomes clear that the book questions the idea that technological intervention can be used to solve problems of food insecurity and public health.

Conclusion:

This work contends that *The Windup Girl* presents an important contribution to ongoing discussions of the relationship between biotechnology, food safety, and public health. Through his connection of ecological uncertainty to technology-infused food production, Bacigalupi emphasizes the importance of an ethically minded approach to biotechnological development.

Keywords: *The Windup Girl*; biotechnology; food safety; public health; genetic engineering; environmental humanities

Introduction

The increasing use of biotechnology in farming practices has altered the views held concerning food production, food security and public health in the current society. Genetic modification and other forms of biological engineering have been seen by many as technological solutions to agricultural insecurity and failures. However, there are problems associated with food systems in regard to technological solutions to such issues, in regard to ecological, corporate, biological and human vulnerabilities. The connection between biotechnology and food security

cannot therefore be analyzed only in relation to science. There is need to consider them in relation to the systems in which the technologies operate socially, environmentally and economically.

The Windup Girl (2009), written by Paolo Bacigalupi, is another literary research of the above-mentioned challenges. This book was developed on the premise of the future when the planet Earth had undergone numerous transformations due to climate change, ecological catastrophe, resource depletion, pandemics, and competition among businesses. To survive, people needed to turn to biotechnology. The value of genetically modified plants increased significantly, and businesses played an important role in their production. Even though biotechnology can be considered a solution to many environmental and agricultural challenges, Bacigalupi reveals the vulnerabilities caused by technological dependence. Thus, the author poses a question regarding the correlation between the governance of food through technology and its security. Food in the novel cannot be considered simply as a means of feeding people. This concept is connected to biotechnology, business, environmental instability, and political power. The creation of GMOs and GMOs in the world of animals and plants is an attempt of people to control an unstable world. At the same time, the implication of the novel is that the effect of bioengineering, which might be produced as a consequence of the manipulation of biological systems, can extend beyond agricultural production. Diseases, environmental instability, and dependency on food systems managed by people make a human society and its environment vulnerable.

This issue is of great importance considering the point of public health. Food insecurity and health insecurity in the novel are related as both of them emerge because of an unstable biological system and a technological world. The novel illustrates the possibility of new biological dangers as corporation-oriented science leads in finding ways of ensuring food security by genetic engineering. In such a way, biotechnology can be considered as a two-sided weapon, which solves agricultural problems and transforms conditions of dependency and vulnerability.

Analysis of this dilemma is particularly suited to an environmental humanities framework because it makes possible the examination of the relationship between technology, ecology, human body and power structures. This is not the scientific evaluation of biotechnology. It is an analysis of the ethical and environmental questions raised and the issues related to the consequences of the technological system in terms of its effect on human and non-human life. In this regard, *The Windup Girl* could be considered as the criticism of food systems where innovation is separated from ecology and public health concerns.

The current study examines the relationship between biotechnological food production and public health in Bacigalupi's *The Windup Girl*. The study focuses on genetic modification, agricultural pathogens, food production and human biological vulnerabilities. The research challenges the assumption that biotechnology alone can address the problem of food insecurity, as suggested by Bacigalupi. Instead, the novel shows how the development of a corporate biotechnological food system raises new ecological and public health threats in the case of a food production push. Therefore, from a literary point of view, the *Windup Girl* becomes an extremely important work on the moral problems of designing and managing technologies that become increasingly integral part of the world's food supply.

The problems listed above were also mentioned in the previous studies devoted to the book "*The Windup Girl*," mainly concerning research in the field of biotechnology, posthumanism, environmental destruction, corporate power and bio-livemodification. Different theories of

analysis concerning the book were developed, which shows how important the moral aspects of the technologies intrusion into people's life and its further commoditization is. Such topics as ecology, body engineering, corporate power or posthumanism are usually considered, but the connection between biotechnological food production and health is not discussed. It is important to analyze previous studies devoted to the book.

Al Dammy, Safaa Sattar Yaas (2026), discusses *The Windup Girl* in light of posthumanism, dealing with issues related to biotechnology, technological domination of corporations, ecological destruction, and genetically modified creatures. This study deals with the issue of ethics in biotechnology and the position of humans in a world that is technologically changed. Acharya's *The Windup Girl* is an analysis of the boundaries of humanity and technologically modified humans. The areas of interest for him include biotechnology, ecological destruction, and techno-capitalist domination with special attention to the ethics of technology invasion. Achhami, Suresh (2026), *The Windup Girl*, examines the problems of genetic engineering and environmental sustainability. According to him, genetic manipulation of agricultural products, domination of corporations over genetic material, and profit maximization have caused environmental degradation and biodiversity loss.

Biocapitalism, genetic engineering, food production, disease resistant crops, and the biopower of corporations are among the most important issues explored by Engheepi, Eulolia and Sivasish Biswas in their research. These researchers argue that biotechnology will be employed for the control of food, diseases, labour, and human/non-human life. Sambhu R. focuses on the questions of food and the body in the context of biotechnology, GM food, and the change in the status of organic and synthetic in the *Windup Girl*. His research is especially pertinent for the current study since the author pays much attention to the issue of food as a target of posthuman and biotechnological transformation. In the biopunk fiction of Bacigalupi Fatima, Noor and Nailah Riaz (2025) explore the issues of biotechnology, environmental degradation, globalization and corporate power. These authors particularly pay attention to the problem of privatization of nature and the consequences of uncontrolled corporate domination over technological and environmental resources. Posthumanism, genetic engineering, corporate power, ecological crisis and food have already been investigated in the context of the *Windup Girl*. There was not much research on the relations between biotechnology of food systems and public health. To fill this gap this current study is going to analyze the impact of genetic modification of food production, agricultural diseases, ecological instability and corporate power on health risks in the novel.

Research and Findings

But, after a careful analysis of the text of *The Windup Girl*, by Paolo Bacigalupi, it becomes apparent that the issue of biotechnology is not just a scientific solution to a problem of food scarcity. In fact, the novel features complex interactions between genetic engineering, agricultural production, ecological unpredictability, corporate involvement, and human health. Traditional agriculture has become unstable due to such factors as the change in climate, diseases, and resource depletion, and that is why there is a need for biotechnology; however, the systems created in order to cope with these challenges create a new level of dependence and vulnerability. There are three interrelated aspects involved: biotechnological food production and food security, agricultural diseases, and public health, and corporate control over genetic resources and human vulnerability.

1. Biotechnological Food Production and the Illusion of Food Security

Environment of agriculture becomes changed through the technology of biotechnology in Bacigalupi's work. Nowadays, food in Bangkok is not just the naturally produced products of the agricultural processes but the genetically modified products that will be able to withstand "hostile ecology of the future." For example, the ngaw becomes of interest for Anderson Lake because of its strange resistance to agricultural diseases. Anderson looks through the product and the main stress in the description of the fruit is "New. No blister rust" (Bacigalupi 1). The deceptively simple phrase becomes comprehensible when Anderson understands that it is another case of the genetic modification in Thailand. Anderson thinks about it as "another Thai genehacking success," in addition to "genetically modified tomatoes and eggplants and chiles" (Bacigalupi 1). The term "genehacking" becomes important because it emphasizes that agricultural biotechnology is not neutral scientific process but active intervention into the biological system. At the same time, the genetically modified plants demonstrate their great potential and resistance to diseases.

In that sense, the ngaw is initially viewed as the potential that biotechnology offers. It is productive simply because it possesses the qualities that other plants lack. In his observations, Anderson notes that there is "no evidence of 'cibiscosis,' 'blister rust,' or 'genehack weevil'" (Bacigalupi 1). Bacigalupi, however, disrupts this picture of success with the reliance on access to the genetic diversity. Anderson comes to the understanding that the plant's ability to resist disease relies on the fact that it possesses the genes which the calorie companies cannot get access to. This is obvious when he considers the absence of any of the diseases afflicting agriculture in the fruit's case, and when he understands that "the fruit is 'access to different genetic material than AgriGen and the rest of the calorie companies use for their generipping.'" (Bacigalupi 87).

In addition, it is also much more than just seeds. According to Anderson, the seedbank is the "treasure trove of biological diversity" and "Infinite chains of DNA, each with their own potential uses" (87). This makes the focus of food production shift from producing the actual crops to conserving and managing the biodiversity of genetic potential. In this case, the seedbank holds the potential for solving the diseases of agriculture in the future, making it biological security. As such, the novel shows a significant paradox of how, in addition to producing food, food security should also be about conserving the diversity of genetics able to adapt to biological changes. The genetically engineered ngaw is so successful since it is a sort of diversity which is absent in dominant food companies.

The point raised by Anderson about the potential influence of the seedbank in Thailand as an asset that would provide "the power to 'mine genetic code for generations' and 'beat back

plague mutations” (Bacigalupi 87) is elaborated. In particular, the use of the “mining” metaphor is highly interesting. Genetic material is presented as if it were another natural resource that could be extracted, processed, and commercialized. Thus, the biodiversity contained in the seeds transforms into a mineral or energy resource. Accordingly, Bacigalupi challenges the idea of technological agriculture providing food security. Disease resistance can be achieved via biotechnology, and the sustainability of such systems would depend on having access to a diversity of genetic resources. With these resources being incorporated into corporate systems, food security becomes a resource dependent not only on agricultural production but also on its ownership and accessibility.

2. Agricultural Pathogens, Ecological Instability, and Public Health

The second key point has to do with the link between agricultural diseases and human beings' health in the novel. Agricultural diseases in *The Windup Girl* are not limited to plants. Rather, the fact that they mutate and move destabilizes the entire ecological system and eventually affects human health. Therefore, agriculture is linked with the issues of public health. Diseases mentioned in the novel include blister rust, cibiscosis, and Nippon genehack weevil. These diseases have significantly altered the agricultural landscape and have led to the destruction of the traditional agricultural system. However, what makes these diseases more dangerous is the fact that they are continually mutating, which makes the task of controlling the process of mutation even more difficult. This danger is clearly illustrated in the novel through the case of the Thai seed bank, as described by Akkarat. When “blister rust and genehack weevil swept the globe,” the seed bank allowed Thailand to withstand “the ravages of the agricultural plagues, even though our people died in droves” (Bacigalupi 151).

Thus, the seedbank can be viewed not only as an agricultural but also a public health source. Due to this seedbank, Thailand will be able to keep crops that could resist the disease. Food security and health security become closely linked because when the agricultural system collapses, the human population becomes vulnerable. Bacigalupi develops the link further in the course of the novel, showing how an agricultural pathogen becomes present in human bodies. In the hospital, Ratana informs the characters that there are two people who have been infected by a mutant of blister rust. When Kanya assumes that the reason for the disease was that they ate something, Ratana corrects her and says that “the pathogen was hosted in them and was propagating” (Bacigalupi 216). What is important about this scene is that an agricultural pathogen moves across the biological borders. Blister rust is usually perceived as an agricultural disease, but the novel considers it spreading to the human bodies. Ratana points at the unusualness of the situation saying “I’ve never seen it host itself in a mammal” (Bacigalupi 216).

This incident establishes an exceptionally strong link between food systems and public health in the novel. It seems that the separation between agricultural disease and human disease is beginning to disappear. An organism responsible for a disease associated with genetically unstable agricultural systems has the ability to influence the physiology of people. Therefore, the implications of biotechnology food production have repercussions beyond issues of yield and accessibility of food. The scientific analysis of the disease also brings out the association with corporate biotechnology. Ratana notes similarities between the disease-causing agent and “AgriGen and TotalNutrient variations” (Bacigalupi 216). This is vital for the current discussion since it means that there is no way biological risk can be dissociated from the organizations that distribute them.

Thus, the novel presents a case where public health vulnerability becomes a systemic issue. In the first place, the problem arises not because of eating unsafe products. Instead, it is created through a chain of genetically modified crops, pathogens in agriculture, ecological instability, experiments carried out by companies, and human body. By doing so, Bacigalupi calls into question a simplistic perception of food safety. According to the novel, food safety is not an issue of whether a product is contaminated or not. Instead, it is related to the biological effects of changing agricultural ecosystems.

3. Corporate Control of Genetic Resources and Human Vulnerability

Finding three addresses the political and economic structure within which the biotechnology functions. Biotechnology in Bacigalupi's novel is not shown as an independent scientific endeavor. Biotechnology exists within the competitive corporate food industry in which companies like AgriGen provide calories to people. The most obvious example of such industry can be seen in the conflict between Anderson Lake and Akkarat about the seedbank of Thailand. Anderson directly asks for "Access to your seedbank" (Bacigalupi 151). This request is immediately refused by Akkarat because seedbank is the base for the independence of Thailand. In particular, his refusal is especially important: "The seedbank has kept us independent of your kind" (Bacigalupi 151). Thus, the seedbank is transformed from agriculture enterprise into political tool, the control over which gives Thailand some independence from corporations. Nevertheless, Anderson describes the situation in a way that makes the request inevitable. "We need new genetic material because we've exhausted many of our options and plagues keep mutating," says Anderson (Bacigalupi 152). This statement is not completely groundless, because the corporations really need the new genetic material to cope with increasingly resistant diseases. This situation creates one of the main ethical ambiguities of the novel. Biotechnology becomes a necessity in order to stabilize the food system which has become biologically unstable. However, it is the very corporations that have built the food system based on the use of patented grain and seeds who now need to use genetic diversity saved from their control. The contradiction is mentioned explicitly by Akkarat, who charges the corporations of Anderson of having "yoked the world to your patented grains and seeds" and of having "enslaved us all" (Bacigalupi 152). While Anderson denies this ideology, the discussion reveals the main structural problem of the book: the corporations own the food system and at the same time depend on genetic diversity saved from their control.

Patented is an especially significant term. In doing so, the term draws the connection between biological life and intellectual property by turning seeds into proprietary entities. Food is no longer just produced and traded as the genetics that facilitate the production process have turned into an object of property. Thus, the corporate order creates a paradoxical situation. Corporations pretend to be offering technological solutions for the problem of global hunger, while at the same time their dominance in the field of patented genetic resources creates the dependency that increases vulnerability of the population. The quotation from Anderson "If the world is going to keep eating they must remain ahead of the agricultural diseases" (Bacigalupi 152) shows biotechnology to be a necessity. However, at the same time the novel questions the need for such dependence.

This contradiction forms the basis of the paper's discussion. Bacigalupi does not argue that biotechnology in itself is destructive. He shows how biotechnology poses risks when used in an unbalanced food economy environment controlled by corporations. Knowledge of science becomes a way of survival, but it also becomes a way of power. In this sense, the seedbank can become an alternative way of ensuring biological security. Its worth is not in its being owned by a corporation but in the fact that it preserves diversity. The battle for control of the seedbank shows that the issue at hand is not only the use of biotechnology but who controls genetic material and what happens when food technologies fail.

Overall Findings

As indicated by the three above-mentioned dimensions, food security and public health are interdependent outcomes of the intervention with biotechnology in the work *The Windup Girl* by Bacigalupi. Firstly, it is necessary to say that the intervention of biotechnology in agriculture through the creation of GM crops like ngaw shows its possibility to solve problems of agricultural disease. Secondly, it is worth mentioning that such intervention relies heavily on genetic diversity and ecological factors. Thirdly, the transmission of diseases from the agricultural field to human bodies proves that biotechnology interventions may produce results outside of their initial agricultural sphere.

Thirdly, the battle for Thailand's seedbank clearly shows how biotechnology cannot be separated from corporate power. The calorie companies need genetic diversity in order to keep their food system going, but their model of agricultural production has actually resulted in the dependence of people worldwide on a system which makes them vulnerable. The key conclusion drawn from this study is that "*The Windup Girl*" portrays food insecurity and public health vulnerability as systemic issues, rather than individual ones. The author is not criticizing the innovations in science, but the development of technology which makes biological resources a commodity available to powerful corporations. In this way, *The Windup Girl* is a useful environmental-humanities take on biotechnology. The story's depiction of the future makes clear that the issue of who is in charge of producing food is also the issue of who is in charge of biological survival. This book thus takes the conversation away from the question of whether biotechnology produces enough food and towards the deeper question of whether a food system can produce security with such vulnerable foundations?

Conclusion

In *The Windup Girl* by Paolo Bacigalupi, biotechnology is portrayed as one of the possible means of overcoming global food insecurity on one hand while generating new threats to ecology and human health on the other hand. First, the novel proves that the genetically modified plants, agricultural pathogens, and disputed genetic material discussed in it are highly interlinked with the existing system of food production. Thanks to biotechnology, plants like ngaw can withstand the attacks of diseases that have been fatal for conventional agriculture; however, the novel proves that technological solutions alone will not provide food security without genetic diversity and ecosystem balance. Second, the novel shows that the manipulation of biological systems has its consequences which go far beyond the sphere of agriculture. The development of agricultural pathogens which can infect people is a way in which the instability of agricultural industry can lead to a public health issue. Through diseases like blister rust, Bacigalupi refutes the idea of a complete division between public health and food systems/ecosystems.

However, at the same time, the dispute regarding Thailand's seedbank reveals the political and economic aspects of biotechnology. Genetic resources become sources of power in determining

who is capable of producing disease-resistant crops and who manages to preserve independence from powerful agricultural firms. Dependence of the calorie companies on genetic material shows the paradox inherent in a completely commercialized food system where corporations strive for technical control of the food production process yet rely on biological diversity they do not own. In such a way, *The Windup Girl* challenges the assumption that technological development can be the means of solving problems resulting from ecological and agricultural disasters. The future of the author brings up the idea that the food security is possible not only through technological development but also by means of biodiversity conservation, sustainable use of genetic resources, and equal access to food production technology. To conclude, *The Windup Girl* shows us that the future of food is impossible to talk about without speaking of the future of human welfare and sustainability. By intertwining biotechnological advancement and food shortages, illnesses, corporate control, and vulnerability of the organism, Bacigalupi reveals how technologies that were designed for the protection of human beings may create dependency and new threats if motivated by economic concerns. That is why the author proposes an ethical and eco-friendly use of biotechnology, which should concern not only food production but also biodiversity and human health.

References

- Acharya, S. (2026). Posthumanism in *The Windup Girl*: Blurring boundaries between human and machine. *Exploration अन्वेषण*, 4, 208–221.
- Achhami, S. (2026). Genetic engineering: A threat to environmental sustainability in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. *Literary Studies*, 39(1), 144–152.
- Al Dammy, S. S. Y. (2026). Posthuman bodies in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl* (2009). *Journal of College of Education/Wasit*, 63(1), 701.
- Bacigalupi, P. (2009). *The Windup Girl*. Night Shade Books.
- Engheepi, E., & Biswas, S. (n.d.). Biocapitalism, posthuman subjectivity, and environmental crisis in *The Windup Girl*. *Sahrdaya Rendezvous: Journal of Interfaces in Arts and Culture*, 32.
- Fatima, N., & Riaz, N. (2025). Corporate power, ecology, and globalization in Bacigalupi's biopunk futures. *International Premier Journal of Languages & Literature*, 3(4), 38–55.
- Jin, Y., & Cheng, X. (2026). Cyborg bodies and identity reconstruction in the post-apocalyptic novel *The Wind-Up Girl*. *Literature, Language and Cultural Studies*, 4(2), 34–43.
- Karavasilis, E. (2025). Environmental degradation, corporate capitalism and posthuman ecological futures in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl* (2009). In *Reconnections: The Humanities in a Time of Climate Change* (p. 54).
- Kim, J. (2019). The problematic representations of the Orient, women, and food transformations in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. *Kritika Kultura*, (33), 566–583.
- Kumar, P., & Umamageswari, V. (2025). Posthumanism and human-animal rights in *The Windup Girl*: Biotechnology, power, and control. *ISHAL PAITHRKAM*, 43.
- Lee, Y.-H. (2019). Food transformation technology in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl* and what it means for us. *Kritika Kultura*, (33).
- Lee, Y.-H. (2023). The future of food trajectories in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. In *The future of food trajectories*. Routledge.
- Sambhu, R. (n.d.). Posthuman liminalities: Reimagining food and embodiment in *The Windup Girl*.
- 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).
- Thongwang, S. (2025). *Techno-Orientalism in Paolo Bacigalupi's The Windup Girl (2009)* [Master's thesis, National Taiwan Normal University].

HEALTH-PROTECTIVE SEISMIC ENGINEERING FOR HOSPITAL FUNCTIONAL RECOVERY: STRUCTURAL, NONSTRUCTURAL, LIFELINE, AND CLINICAL CONTINUITY STRATEGIES

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of
Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia
(UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Hospitals are required to protect occupants during earthquakes while simultaneously preserving the capacity to deliver emergency, critical, diagnostic, and inpatient care when community demand is highest. Conventional life-safety objectives are therefore necessary but insufficient for health-care facilities because structural survival can coexist with loss of medical function caused by damaged ceilings, equipment, piping, emergency power, water, medical gases, communications, access routes, or interdependent departments. This critical integrative review examines hospital seismic resilience from a civil-engineering and public-health perspective, emphasizing the transition from collapse prevention toward functional recovery. Recent evidence, including observations and network studies after the 2023 Türkiye earthquakes, hospital-function assessment research, current NIST functional-recovery work, and contemporary health-care seismic programs, is synthesized with established structural and nonstructural engineering principles. A source-to-function pathway is proposed that links ground motion and geotechnical hazards to structural response, nonstructural damage, lifeline disruption, clinical-system failure, and health-service consequences. The paper then develops a health-protective hierarchy covering structural and foundation performance, restraint and qualification of nonstructural components and medical equipment, redundant utility systems, safe internal circulation, rapid post-event assessment, and recovery-oriented planning. Two transparent equations illustrate inertial demand and normalized functionality over time; the associated recovery curves are hypothetical and are not field measurements. The review concludes that hospital seismic performance should be evaluated as a coupled structural, nonstructural, lifeline, and operational system. Site-specific hazard analysis, applicable codes, clinical priorities, resource constraints, and local recovery objectives remain essential for implementation.

Keywords: hospital seismic resilience; functional recovery; structural engineering; nonstructural components; lifeline infrastructure; public health

INTRODUCTION

Hospitals occupy a special position in earthquake risk management. A residential or commercial building that remains standing after strong shaking may still satisfy a fundamental life-safety objective even if repairs are needed before normal use resumes. A hospital faces a more demanding societal requirement. It must protect patients, staff, and visitors during the event, avoid hazardous evacuation where possible, and maintain or restore essential medical functions quickly enough to treat both existing patients and the surge of injured people

generated by the earthquake. The health consequence of hospital damage is therefore not limited to direct injury inside the building; it also includes delayed surgery, loss of intensive care, interrupted oxygen supply, degraded diagnostics, disrupted water and sanitation, reduced bed capacity, and redistribution of patients across the wider health network.

This distinction has become increasingly important in earthquake engineering. NIST defines functional recovery in terms of a building or infrastructure system being maintained or restored so that its basic intended functions can be safely and adequately supported after an earthquake. Recent NIST work emphasizes that conventional building-code objectives have historically concentrated on life safety and collapse prevention, while recovery-oriented objectives require explicit attention to damage mechanisms, nonstructural systems, repair sequencing, utilities, and target recovery times (Arendt et al., 2025; Cook & Sattar, 2024). For hospitals, these concepts have direct public-health significance because building functionality is inseparable from service delivery.

Health-care facilities also differ from ordinary buildings in the density and importance of their nonstructural systems. Suspended ceilings, partitions, piping, ductwork, cable trays, elevators, emergency generators, switchgear, medical-gas systems, diagnostic equipment, storage racks, laboratory systems, and information technology can all govern whether a structurally safe building remains clinically usable. California's hospital seismic program, for example, separates structural performance categories from nonstructural performance categories and explicitly includes equipment and systems critical to patient care within its seismic-performance framework (HCAI, n.d.-a, n.d.-b). This regulatory example is jurisdiction-specific, but the engineering principle is broadly relevant: structural integrity and operational continuity are different performance dimensions.

The objective of this paper is to synthesize current evidence and engineering practice into a health-protective framework for hospital seismic design, retrofit, assessment, and recovery planning. The paper is a critical integrative review and does not present new earthquake records, hospital damage observations, patient outcomes, or numerical simulations. Quantitative values reported from published studies are retained within their original study contexts. The proposed figures and hierarchy are conceptual syntheses intended to support engineering reasoning rather than substitute for site-specific seismic analysis or applicable national standards.

RESEARCH AND FINDINGS

1. From life safety to continuity of health services

A health-protective seismic objective begins by separating three related but non-equivalent states: survival, reoccupancy, and functional recovery. Survival means that catastrophic structural failure and life-threatening hazards are avoided. Reoccupancy adds the requirement that the building can be safely entered and used at some level. Functional recovery requires the building to support its basic intended services within a defined period. A hospital may satisfy the first condition and fail the third if an operating theatre loses electrical power, a medical-gas line ruptures, a water tank is damaged, an elevator is unavailable, or a diagnostic department becomes inaccessible. Engineering decisions should therefore be linked to the clinical functions that must survive, not only to global structural response.

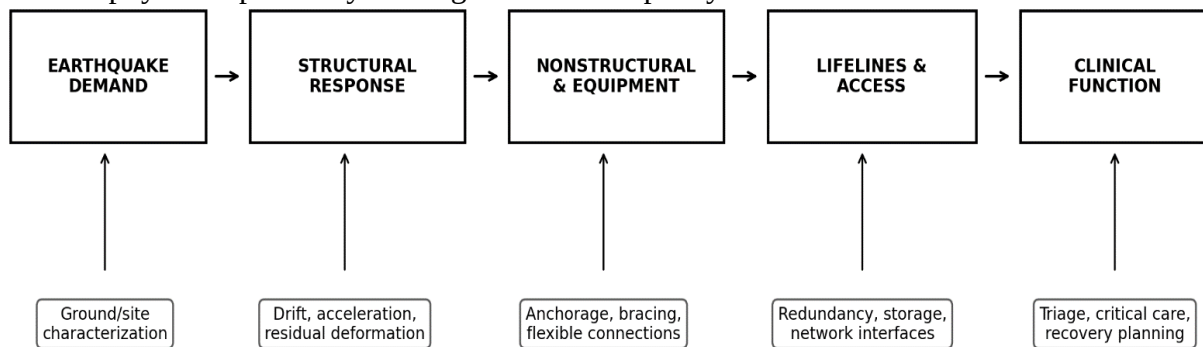
WHO's safe-hospital and resilient-health-facility guidance treats reliable infrastructure and continuity of essential services as central features of health-system resilience. The 2024 WHO overview emphasizes reliable electricity, water, sanitation, hygiene, waste management, and protected health workforces as prerequisites for quality care. Although that document is multi-hazard rather than earthquake-specific, it reinforces a critical engineering implication: hospital

resilience is produced by interacting building and service systems rather than by the structural frame alone (World Health Organization, 2024).

For seismic engineering, the most useful performance question is therefore not simply whether the hospital has collapsed, but which clinical functions remain available at specified times after shaking. Emergency departments, operating theatres, intensive care units, laboratories, imaging, pharmacy, sterile supply, wards, and support spaces have different dependency chains. A technically modest failure in one dependency can propagate. Loss of a single electrical distribution board may disable multiple departments; failure of a vertical pipe riser can affect several floors; blocked stairs or elevators can interrupt patient movement even when treatment spaces remain undamaged.

2. Coupled pathways from ground motion to health-service loss

Figure 1 summarizes the central causal chain used in this review. Earthquake demand is first modified by site conditions and geotechnical hazards such as amplification, liquefaction, lateral spreading, settlement, slope movement, and foundation interaction. Structural response then produces floor accelerations, interstory drifts, residual deformation, and local demands that act on nonstructural components and equipment. Damage to utilities and access systems can further propagate functional losses. The final engineering endpoint is clinical function, which depends on both physical operability and organizational capacity.



HEALTH-PROTECTIVE PERFORMANCE: SAFE OCCUPANCY + CONTINUITY OF ESSENTIAL CARE + TIMELY RECOVERY

Figure 1. Conceptual pathway linking earthquake demand, structural and nonstructural performance, lifeline continuity, and clinical function. Source: Authors' original synthesis.

Table 1. Hospital seismic failure pathways and health-protective controls.

System	Earthquake failure mechanism	Health-service consequence	Engineering/management control
Ground and foundation system	Amplification, liquefaction, settlement, lateral spreading, foundation distress	Differential movement, loss of access, utility rupture, structural demand increase	Site investigation; ground improvement; foundation compatibility; flexible utility interfaces
Primary structure	Excessive drift, acceleration, local failure, residual deformation	Unsafe occupancy, restricted zones, prolonged repair, evacuation	Ductile system; drift and residual-drift control; retrofit; isolation or damping where justified
Architectural components	Ceiling, partition, cladding, glazing, stair or door damage	Blocked circulation, falling hazards, loss of sterile or controlled spaces	Seismic restraint; deformation-compatible details; protected egress and critical rooms

System	Earthquake failure mechanism	Health-service consequence	Engineering/management control
Medical equipment	Sliding, overturning, impact, internal component failure	Loss of imaging, surgery, laboratory, monitoring, pharmacy or ICU capability	Anchorage; qualification; restraint; clearance; flexible service connections
Utilities and lifelines	Power, water, gas, wastewater, communications or HVAC interruption	Clinical shutdown despite structural safety	Redundant supply; storage; protected distribution; emergency connections; testing
External access/network	Damaged roads, ambulance routes, supply chains or nearby hospitals	Patient redistribution, delayed staff/supplies, overload of surviving facilities	Network planning; alternate access; mutual aid; distributed capacity; logistics planning

3. Evidence from recent earthquakes and functional-assessment research

Recent earthquake observations show why hospital performance should be assessed at both building and network scales. Roohi et al. (2025) investigated the hospital network in Hatay for one year after the 2023 cascading earthquakes in Türkiye, documenting functionality losses and subsequent recovery of medical capacity. The study is valuable because it moves beyond a single damage snapshot and treats health-care capacity as a time-dependent network resource. Its numerical findings are specific to Hatay, the affected hospital inventory, the earthquake sequence, emergency decisions, and the recovery process; they should not be transferred directly to another city.

At building scale, Cheng et al. (2024a) developed a post-earthquake medical-functionality assessment method for hospital inpatient buildings that differentiates fundamental inpatient functions from diagnostic and intensive-care functions and considers functional dependencies. Their case application showed that more demanding diagnostic and intensive-care functions can be harder to preserve than basic inpatient care under severe seismic demand. This is a modeling result for the studied building and assumptions, not a universal probability of hospital failure, but it demonstrates a key systems principle: the functional threshold of a hospital is determined by the weakest critical dependency, not by the structural frame in isolation.

Cheng et al. (2024b) also proposed a BIM-based approach for assessing medical functionality at department scale by linking structural components, nonstructural components, medical equipment, and functional coupling. The value of such models is not that BIM itself increases seismic resistance, but that a structured information environment can help expose hidden dependencies and support consistent post-event assessment. Zhao and Takahashi (2025), working on concrete buildings more broadly, likewise showed how repair sequencing and construction characteristics influence estimated recovery trajectories. These methods remain model-dependent and require calibration before they can support project decisions.

The 2026 probabilistic study by Mokhtari and Naderpour is particularly relevant to hospital buildings with soft-story characteristics. The authors reported that nonstructural-component losses exceeded structural losses across the seismic intensities examined in their analytical models. That result should not be generalized as a universal percentage, but it reinforces a longstanding hospital-engineering lesson: if structural design is improved while equipment, partitions, ceilings, utilities, and contents remain vulnerable, the building may still lose the functions for which the enhanced structure was intended.

Table 2. Selected recent evidence and limits on interpretation.

Evidence source	Evidence type	Main engineering implication	Interpretation boundary
Roohi, Deniz, & Cheraghzade (2025)	Year-long investigation of hospital network after the 2023 Türkiye earthquakes	Hospital functionality and bed/service capacity changed over time during recovery.	Place-specific network evidence; not a transferable recovery rate.
Speicher, Hariri Ardebili, & Sattar (2024)	Post-earthquake functional-recovery reconnaissance	Functional recovery requires information beyond conventional structural-damage observations.	Reconnaissance-methodology evidence; not a hospital design standard.
Cheng et al. (2024a)	Hospital inpatient-building functionality model	Functional dependencies can make higher-level medical services more vulnerable than basic occupancy.	Model and case-study result; probabilities depend on assumptions and building configuration.
Cheng, Xie, & Wang (2024b)	BIM-based hospital department functionality assessment	Integrated component/equipment data can represent functional coupling between hospital systems.	Methodological demonstration; BIM data quality and fragility models govern outputs.
Mokhtari & Naderpour (2026)	Probabilistic hospital soft-story study	Nonstructural losses exceeded structural losses in the analyzed cases.	Analytical study of defined archetypes; not a universal loss ratio.
Arendt et al. (2025)	NIST functional-recovery performance-target workshop	Recovery objectives need explicit target times and broader stakeholder input.	U.S. framework-development context; implementation in codes remains evolving.

4. Structural and geotechnical performance for hospital continuity

Structural systems must first provide reliable life safety, but recovery-oriented hospital design also seeks to limit damage states that create long closures. Interstory drift can damage partitions, façades, piping, shafts, stairs, doors, and deformation-sensitive equipment. Floor acceleration can govern forces in mechanical and electrical equipment, ceilings, suspended services, storage systems, and contents. Residual drift can make repair impractical even if peak transient drift did not cause collapse. These response quantities should therefore be connected to functional objectives during design and retrofit rather than evaluated solely through a single strength check.

A simple inertial relationship illustrates why acceleration-sensitive hospital contents require explicit attention:

$$F = m a \quad (1)$$

Equation 1. Fundamental inertial-force relationship, where F is inertial force, m is component mass, and a is component acceleration. This is a conceptual mechanics relationship, not a code-prescribed hospital component force equation.

Equation 1 is intentionally simple. Actual seismic design forces for nonstructural components depend on code-specific parameters, component location, dynamic amplification, attachment, importance, response modification, and other factors. ASCE/SEI 7-22, for example, contains dedicated seismic requirements for nonstructural components, while health-care jurisdictions may impose additional qualification and anchorage rules. The equation is therefore used only to explain why reducing floor acceleration through structural response control can benefit acceleration-sensitive contents.

Base isolation and supplemental damping can be attractive for critical facilities because they can reduce demands transmitted into the superstructure and nonstructural systems when appropriately designed. They are not universal solutions. Isolation systems introduce displacement demands, moat and utility-interface requirements, inspection needs, and project-specific cost and constructability considerations. Similarly, strengthening a soft story, adding walls or braces, or using local retrofit measures can improve structural performance but may increase local accelerations or transfer demands unless the whole building system is assessed. ASCE/SEI 41-23 provides performance-based procedures for evaluation and retrofit of existing buildings; project-specific use must follow the adopted jurisdiction and professional design requirements (American Society of Civil Engineers, 2023).

Geotechnical compatibility is equally important. A hospital designed for low superstructure damage can still lose function if access slabs settle, buried utilities rupture, a retaining system moves, or liquefaction deforms foundations and service connections. Site characterization should therefore address the seismic hazards relevant to the location and the consequence of differential movement to both structural and lifeline systems. Ground improvement, foundation selection, flexible joints, redundancy of buried services, and protected utility corridors should be evaluated together rather than in separate disciplinary silos.

5. Nonstructural components, equipment, and internal circulation

Nonstructural systems are often the direct interface between seismic engineering and medical care. A ceiling failure over an emergency department can force closure even when the structure is safe. Unrestrained oxygen cylinders, laboratory shelves, pharmacy storage, monitors, ventilators, imaging equipment, and mobile carts can become impact hazards or become unavailable. Piping and ductwork can fail at supports or incompatible interfaces. Doors can jam under drift. Elevators can be disabled by guide-rail, counterweight, power, or control problems. These failures can be individually modest but collectively decisive for clinical continuity.

FEMA E-74 remains an established practical resource for identifying and reducing nonstructural earthquake risks, and its current training materials continue to emphasize bracing, anchorage, restraint, and protection of contents. California's HCAI special seismic certification framework provides a health-care-specific example: applicable code provisions require special seismic certification for certain nonstructural components, while the OSP program offers manufacturers a voluntary route for preapproval. Its published categories include emergency and standby power equipment and reference current ASCE 7-22 nonstructural-component provisions (HCAI, n.d.-c). These requirements are California-specific, but they illustrate a transferable risk-management principle: critical equipment should be demonstrated to remain attached and, where required, operable under the design basis relevant to the facility.

Table 3. Nonstructural and utility systems that can govern hospital functionality.

System	Typical seismic vulnerability	Clinical consequence	Health-protective measure
Emergency power	Generator, transfer switch, switchgear, fuel-system movement	Loss of life-support, lighting, IT, pumps, HVAC or diagnostics	Seismic qualification/anchorage; redundant trains; protected fuel; periodic load tests
Medical gases	Tank, manifold, piping or support failure	Loss of oxygen/vacuum/anesthetic gas to critical care	Braced distribution; flexible interfaces; zone isolation; reserve capacity
Water and wastewater	Tank, pump, pipe, valve or external network failure	Loss of hygiene, sterilization, cooling, toilets, dialysis or fire protection	On-site storage; flexible joints; redundant pumps; prioritized rationing plan
Imaging and laboratory	Equipment sliding, overturning or internal damage	Loss of diagnosis and treatment support	Qualified anchorage; clearance; service-loop flexibility; rapid post-event checks
Ceilings/partitions/cladding	Falling components or drift incompatibility	Injury, blocked circulation, loss of controlled clinical space	Bracing; compatible details; protected egress; inspection access
IT and communications	Rack, cable, power or network interruption	Loss of records, orders, coordination and external communication	Anchored racks; UPS/emergency power; redundant network paths; backup procedures

6. Lifelines, external dependencies, and hospital network resilience

Hospital functional recovery cannot be guaranteed entirely within the property boundary. Electric power, potable water, wastewater, telecommunications, fuel, medical-gas supply, transport access, staff availability, pharmaceuticals, blood products, and specialist referral networks may all depend on external infrastructure. NIST's 2024 lifeline functional-recovery framework treats lifelines as socio-technical systems in which physical assets and organizational actions must be coordinated to meet service-recovery objectives (Davis et al., 2024). For hospitals, this means that on-site redundancy should be designed against realistic assumptions about the duration and geographic extent of external outages.

Redundancy should be functional rather than nominal. Two generators in the same vulnerable room, two water lines crossing the same liquefaction zone, or duplicate communication systems dependent on the same upstream node may constitute common-mode rather than independent resilience. Engineering review should identify shared exposures, isolation points, repair access, spare parts, fuel endurance, storage capacity, and the transition from normal to emergency operation. Clinical priorities should determine which loads and services receive protected capacity when full operation cannot be maintained.

Network resilience also matters because hospitals do not fail independently. The Hatay study demonstrates that earthquake impacts and recovery unfold across multiple facilities and over time. If one hospital loses capacity, patient demand is displaced to surviving facilities, which can produce overload even where those facilities are physically undamaged. Hospital seismic

planning should therefore be coordinated with ambulance routes, regional referral plans, temporary care capacity, and mutual-aid agreements. The engineering design of one hospital is most valuable when it supports a resilient health network rather than a technically isolated building.

7. Functional recovery as an engineering performance objective

A recovery-oriented assessment represents hospital function as a time-dependent quantity rather than a binary safe/unsafe state. A normalized functionality curve $Q(t)$ may represent the proportion of a defined set of essential services available at time t . A simple resilience index over a selected control interval can be written as:

$$R = 1/(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad (2)$$

Equation 2. Normalized functionality-based resilience index over a selected interval. $Q(t)$ must be defined for the hospital services of interest; the equation is a conceptual performance metric and not a clinical outcome measure.

The usefulness of Equation 2 depends entirely on the definition of $Q(t)$. A hospital may choose to track overall usable beds, emergency department capacity, ICU beds, operating theatres, imaging capacity, or a weighted set of critical functions. A single aggregated index can conceal serious service-specific losses, so the underlying functions should remain visible. Recovery time also includes more than physical repair. Inspection, permitting, access, contractor availability, replacement equipment, supply chains, staff, infection-control requirements, and commissioning can delay return to service.

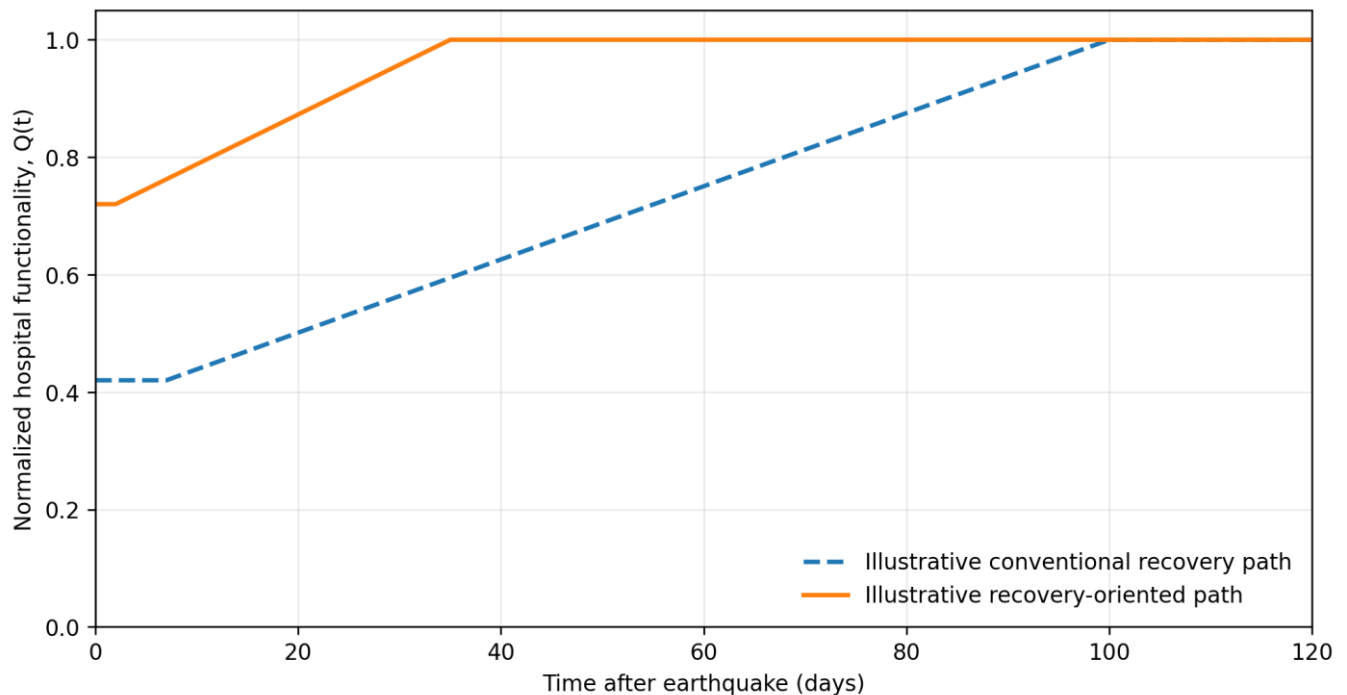


Figure 2. Illustrative hospital functionality trajectories for conceptual comparison. Curves are hypothetical and are not field measurements, predictions, or calibrated performance targets. Source: Authors' original calculation.

Figure 2 intentionally avoids presenting a specific hospital forecast. The two curves simply demonstrate how a recovery-oriented strategy can be evaluated through both the immediate functionality retained after shaking and the time required to restore services. A design that reduces structural damage but leaves medical equipment vulnerable may improve one part of

the curve without achieving the desired clinical outcome. Conversely, strong operational planning cannot compensate for an unsafe or irreparable structure. Functional recovery is therefore a coupled performance objective.

8. Monitoring, rapid assessment, and recovery governance

Rapid post-earthquake decisions are essential in hospitals because unnecessary evacuation can itself create clinical risk, while delayed closure of unsafe areas can expose occupants to aftershocks and falling hazards. Structural health monitoring, strong-motion instrumentation, building-management alarms, utility status monitoring, and well-organized inspection records can improve situational awareness, but instrumentation should not be treated as an automatic declaration of safety. Decision thresholds must be linked to validated engineering models, inspection procedures, and responsible professional judgment.

BIM and asset-information systems can support recovery when they contain accurate locations, anchorage details, shutoff points, spare-part information, equipment dependencies, and inspection history. Cheng et al. (2024b) demonstrate the value of representing functional coupling between building components and medical equipment. The practical extension is to maintain information before the earthquake rather than trying to reconstruct it afterward. Digital records should be accessible during power or network disruption and integrated with emergency procedures.

Table 4. Monitoring and assessment functions for post-earthquake hospital recovery.

Monitoring/assessment	Information produced	Decision use	Important limitation
Strong-motion/structural sensors	Floor acceleration, drift proxies, vibration changes	Prioritize inspection; compare with analytical thresholds	Sensor failure or model uncertainty can misclassify damage; does not replace engineering inspection
Utility telemetry	Generator status, fuel, tank level, pressure, flow, alarms	Identify service loss and rationing needs	Common-mode power/data failure can remove telemetry
Nonstructural inspection	Ceilings, piping, anchorage, equipment, egress	Identify localized hazards and functional blockers	Requires trained teams and access; hidden damage may remain
Clinical-function dashboard	ED, ICU, theatre, imaging, laboratory, bed availability	Connect engineering status to service priorities	Needs agreed definitions; a single aggregate score can hide critical failures
Asset/BIM records	Equipment, anchors, isolation valves, dependencies, drawings	Accelerate diagnosis and repair planning	Only useful if current, validated, accessible, and backed up
Recovery-time tracking	Inspection, mobilization, repair, commissioning, reopening	Compare actual recovery with objectives and improve future plans	Affected by nonengineering constraints such as staffing and supply chains

9. Proposed health-protective seismic hierarchy for hospitals

The evidence supports a hierarchy in which higher levels of health-service continuity are built on lower-level physical safety. Figure 3 does not imply that the layers are independent or strictly sequential. Instead, it emphasizes that operational resilience cannot compensate for unsafe structures, while structural safety alone does not guarantee clinical continuity. The hierarchy begins with structural and geotechnical safety, then protects nonstructural components and equipment, secures lifelines, maps clinical dependencies, and prepares recovery actions and target times.

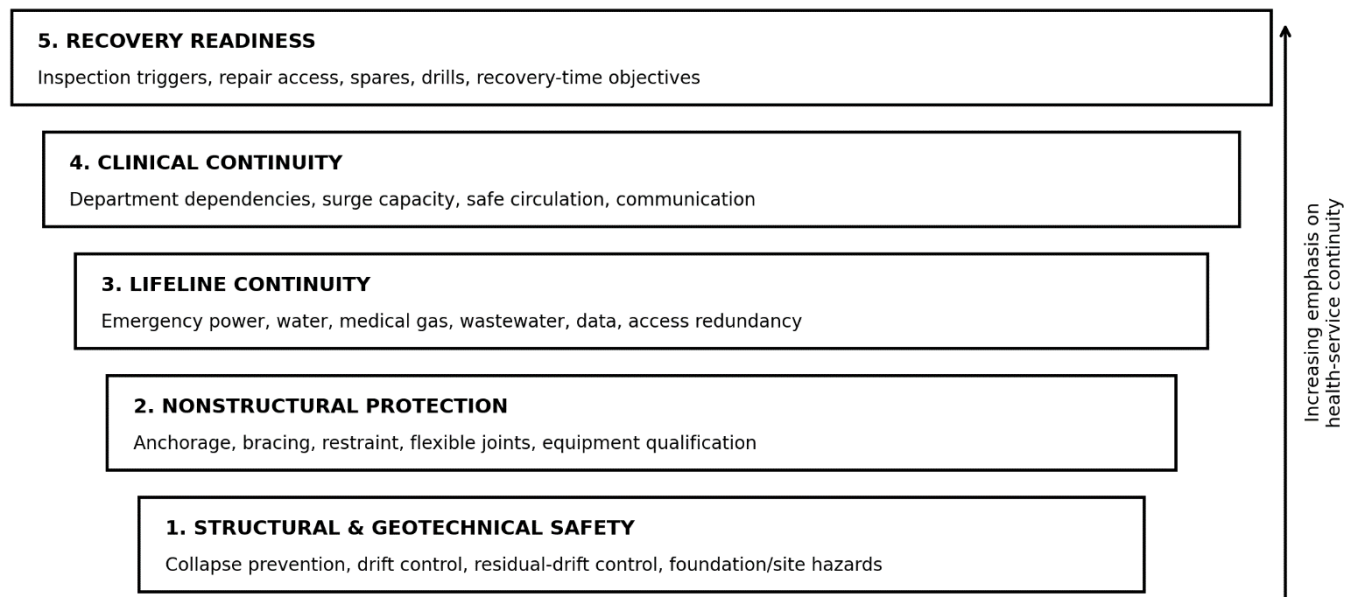


Figure 3. Proposed health-protective hierarchy for hospital seismic resilience and functional recovery. Source: Authors' original synthesis.

At the first level, the structural system, foundations, and site must control collapse, instability, and unacceptable residual damage in accordance with applicable standards and project objectives. The second level addresses nonstructural restraint, compatibility, and equipment qualification. The third level protects utility continuity and external interfaces. The fourth level explicitly connects physical systems to essential departments and patient flows. The fifth level establishes inspection triggers, repair access, spares, commissioning, drills, and recovery-time objectives. Weakness at any layer can dominate the final health outcome.

10. Design and retrofit implications for different resource contexts

Not every health system can immediately implement high-cost isolation systems, comprehensive instrumentation, redundant utility plants, or full probabilistic recovery modeling. A health-protective framework should therefore support staged risk reduction. The first priority is to identify conditions that can cause collapse, severe injury, or immediate loss of critical care. Existing hospitals can then be screened for vulnerable structural systems, weak stories, unanchored equipment, fragile ceilings, unsupported piping, unsecured storage, single-point utility failures, blocked emergency access, and inadequate shutoff capability. Many nonstructural risk reductions are comparatively localized and can be coordinated with maintenance or equipment replacement programs.

For new hospitals, recovery objectives can be embedded earlier in planning by defining critical departments, target service levels, acceptable downtime, utility autonomy, repair access, and replacement strategies before the structural and building-services systems are fixed. NIST's

evolving functional-recovery work is relevant because it attempts to translate target recovery times into design decisions and recognizes the need to consider structural and nonstructural performance together (Arendt et al., 2025; Elsibaie et al., 2025). The precise targets should reflect local seismic hazard, hospital role, referral network, code requirements, available resources, and societal expectations.

Standards must also be applied within their jurisdictional context. ASCE/SEI 7-22 and ASCE/SEI 41-23 are U.S. standards and HCAI requirements apply to California health-care facilities. They can illustrate current engineering approaches but should not be presented as automatic requirements for Botswana, Malaysia, Japan, Türkiye, or other countries. Local building codes, health-facility regulations, seismic hazard definitions, construction practice, and competent-authority requirements govern project implementation. The framework in this paper is intended to organize multidisciplinary decision-making, not replace those legal and technical requirements.

11. Limitations and research priorities

The evidence base has important limitations. Hospital functionality is difficult to observe consistently because medical service definitions vary across facilities, post-event data are often incomplete, and emergency operational decisions can mask or amplify physical damage effects. Analytical studies depend on fragility functions, dependency assumptions, repair sequencing, and recovery-time models that may not be validated for all hospital systems. Network studies are strongly influenced by regional transport, patient movement, staffing, and emergency policy. These uncertainties argue for transparent assumptions and sensitivity analysis rather than false precision.

Research priorities include better empirical relationships between structural/nonstructural damage and specific clinical functions; validated fragility and recovery data for modern medical equipment; explicit treatment of medical-gas, water, IT, and sterile-environment dependencies; integration of geotechnical and utility failures into hospital functional models; and post-earthquake data collection that records service loss and restoration alongside physical damage. Emerging sensor, BIM, and digital-twin methods may improve assessment, but their added value should be evaluated against robust conventional inspection, maintenance, and redundancy measures rather than assumed.

A further challenge is equity. Regional resilience is not achieved if one technologically advanced hospital remains functional while surrounding facilities, roads, power, water, or referral systems fail. Functional-recovery targets should therefore be coordinated across health networks and critical lifelines. Engineering investment should consider which facilities provide irreplaceable services, which populations have limited alternatives, and how patient demand will redistribute after a major event. This extends hospital seismic engineering from a building-performance problem to a public-health infrastructure problem.

CONCLUSION

Hospital seismic resilience should be defined by the ability to protect life and preserve or rapidly restore essential health services, not by structural survival alone. Structural damage, floor acceleration, residual deformation, nonstructural failure, medical-equipment vulnerability, utility interruption, access disruption, and clinical interdependencies can each control post-earthquake functionality. Recent hospital-function research and recovery-oriented engineering frameworks show that these mechanisms must be assessed together.

The health-protective hierarchy proposed in this paper places structural and geotechnical safety at the foundation, followed by nonstructural protection, lifeline continuity, explicit clinical-

function mapping, and recovery readiness. This hierarchy is consistent with the practical reality that a hospital can be structurally safe yet medically unusable, or operationally well prepared yet physically unsafe. Design and retrofit strategies should therefore connect engineering response quantities to clinical consequences and target recovery times.

The paper does not propose universal numerical thresholds, recovery times, or retrofit prescriptions. Published case-study findings remain specific to their buildings, earthquake environments, and modeling assumptions. The illustrative functionality curves are not measurements or predictions. Implementation must be based on site-specific seismic and geotechnical assessment, applicable standards, health-facility regulations, hospital role, available resources, and regional lifeline dependencies. Within those constraints, functional recovery provides a useful bridge between civil engineering performance and the public-health purpose of hospitals: delivering safe, continuous care when communities need it most.

REFERENCES

- American Society of Civil Engineers. (2022). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-22). ASCE.
- American Society of Civil Engineers. (2023). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (ASCE/SEI 41-23). ASCE.
- Arendt, L., Johnson, K., Sattar, S., Valley, M., Chandrasekhar, D., Johnson, L., & Kersting, R. (2025). Functional recovery performance targets workshop report (NIST SP 1341). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1341>
- Cheng, Q., Liu, Z., Xie, L., Wang, Z., & Wang, X. (2024a). Post-earthquake medical functionality assessment methods and enhancement strategies for hospital inpatient buildings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104639. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104639>
- Cheng, Q., Xie, L., & Wang, Z. (2024b). BIM-based method for post-earthquake medical functionality assessment of hospital departments considering functional coupling. *Journal of Building Engineering*, 83, 108339. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108339>
- Cook, D., & Sattar, S. (2024). A technical framework to map functional recovery performance objectives to prescriptive seismic design provisions for buildings (NIST SP 1321). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1321>
- Davis, C. A., Johnson, L. A., Kiremidjian, A., Kwasinski, A., O'Rourke, T. D., Stanley, E., Yu, K., Zareian, F., Johnson, K., & Hortacsu, A. (2024). Initial framework to design lifeline infrastructure for post-earthquake functional recovery: Volume 1 (NIST SP 1310). National Institute of Standards and Technology.
- Elsibaie, S., Zhang, Y., Fung, J., Cook, D., Sattar, S., Morris, P., Burton, H., Welch, D., & Anaraki, K. (2025). Estimating the costs and performance of enhanced building design: A case study of functional recovery for new buildings (NIST TN 2351). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2351>
- Federal Emergency Management Agency. (2012). Reducing the risks of nonstructural earthquake damage: A practical guide (FEMA E-74). U.S. Department of Homeland Security.
- Health Care Access and Information. (n.d.-a). Hospital seismic safety. California Department of Health Care Access and Information. <https://hcai.ca.gov/facilities/building-safety/seismic-compliance-and-safety/hospital-seismic-safety/>
- Health Care Access and Information. (n.d.-b). Structural and non-structural performance categories. California Department of Health Care Access and Information.

<https://hcai.ca.gov/facilities/building-safety/seismic-compliance-and-safety/seismic-performance-ratings/>

Health Care Access and Information. (n.d.-c). OSHPD special seismic certification preapproval (OSP). California Department of Health Care Access and Information.

<https://hcai.ca.gov/facilities/building-safety/preapproval-programs/osp/>

Mokhtari, M., & Naderpour, H. (2026). Seismic resilience of hospital buildings with soft stories: A probabilistic vulnerability analysis. *Journal of Structural Design and Construction Practice*, 31(3). <https://doi.org/10.1061/JSDCCC.SCENG-2057>

Roohi, M., Deniz, D., & Cheraghzade, M. (2025). Hospital network resilience in Hatay following the 2023 cascading earthquakes in Türkiye: Year-long investigation. *Journal of Structural Engineering*, 151(5). <https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-13964>

Speicher, M., Hariri Ardebili, M., & Sattar, S. (2024). Functional recovery in the context of post-earthquake reconnaissance: Challenges and opportunities. *Proceedings of the 18th World Conference on Earthquake Engineering*, Milan, Italy.

World Health Organization. (2015). Comprehensive safe hospital framework. World Health Organization.

World Health Organization. (2024). Safe, climate-resilient and environmentally sustainable health care facilities: An overview. World Health Organization.

Zhao, H., & Takahashi, N. (2025). Resilience evaluation of post-earthquake functional recovery for precast prestressed concrete buildings. *Applied Sciences*, 15(13), 6994. <https://doi.org/10.3390/app15136994>

HEALTH-PROTECTIVE GEOTECHNICAL ENGINEERING FOR CONTAMINATED SOILS: EXPOSURE PATHWAYS, STABILIZATION/SOLIDIFICATION, CAPPING, AND SAFE REDEVELOPMENT

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of
Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia
(UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Contaminated ground is simultaneously an environmental, geotechnical, and public-health problem because soil can act as a source, transport medium, structural material, and interface with buildings and groundwater. This critical integrative review develops a health-protective geotechnical framework for contaminated soils and brownfield redevelopment, with emphasis on exposure-pathway control rather than contaminant concentration alone. Published evidence and current technical guidance are synthesized for direct contact and dust, leaching and groundwater transport, vapour intrusion, cover systems, stabilization/solidification (S/S), soil-vapour extraction, and long-term verification. Recent experimental work demonstrates that S/S can simultaneously increase soil strength and reduce heavy-metal leachability, but performance is binder-, contaminant-, soil-, and curing-specific and should not be transferred between sites without testing. Field and analytical studies of cover and barrier systems likewise show that infiltration, hydraulic conductivity, sorption, and geometry govern contaminant breakthrough and service life. For volatile contaminants, soil, groundwater, soil-gas, and indoor-air data can provide materially different indications of risk, making pathway-specific characterization essential. Two transparent transport relationships are presented to connect hydraulic flux, diffusion, and sorption retardation to engineering decisions; the accompanying sensitivity analysis is illustrative and is not field data. The review concludes that safe redevelopment requires a hierarchy of source removal or avoidance, pathway interruption, mobility reduction, vapour control, and long-term monitoring. Geotechnical acceptance criteria should therefore include both engineering performance and contaminant mobility, with explicit contingency actions for deterioration, changing groundwater conditions, extreme weather, construction disturbance, or land-use change.

Keywords: contaminated soil; geotechnical engineering; public health; stabilization/solidification; capping; vapour intrusion.

INTRODUCTION

Contaminated land is often framed as a chemistry problem, yet redevelopment decisions are implemented through the ground. Foundations, pavements, utilities, excavations, retaining structures, drainage systems, and buildings interact directly with soil that may contain metals, metalloids, petroleum hydrocarbons, chlorinated solvents, polycyclic aromatic hydrocarbons,

or mixed industrial residues. A brownfield is not necessarily highly contaminated; rather, redevelopment or reuse may be complicated by the presence or potential presence of hazardous substances, pollutants, or contaminants (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2026a). From a civil-engineering perspective, the key question is therefore not simply whether a chemical is detected, but whether the site configuration permits an unacceptable exposure pathway or contaminant migration mechanism under the intended land use.

This distinction matters because the same contaminant concentration can have very different consequences depending on soil texture, groundwater depth, sorption, permeability, surface cover, building foundation details, construction activity, and receptor behavior. Lead-contaminated soil and dust are important examples. The World Health Organization (WHO, 2026) identifies contaminated soil and dust as recognized exposure sources and emphasizes the particular vulnerability of young children. Conversely, volatile organic compounds may present comparatively little direct-contact risk at the ground surface while creating an indoor-air pathway if vapours migrate through the vadose zone and foundation openings. A health-protective geotechnical design therefore requires a source-pathway-receptor model rather than concentration-only screening.

The engineering challenge becomes more complex when remediation changes the soil itself. Stabilization/solidification can reduce leachability, but also changes strength, compressibility, hydraulic conductivity, pH, stiffness, and excavation characteristics. Capping may reduce direct contact and infiltration, but settlement, erosion, cracking, vegetation, burrowing, drainage failure, or future trenching can compromise performance. Vertical barriers may redirect groundwater flow. Soil-vapour extraction may treat volatile contamination in unsaturated soil, whereas non-volatile metals require different controls. These interactions are central to geotechnical engineering because a remedial system that passes an initial chemical test but fails mechanically, hydraulically, or operationally can re-establish exposure.

The purpose of this paper is to integrate recent evidence with established remediation guidance and develop a practical framework for health-protective geotechnical decision-making. The paper is a critical integrative review, not a new field or laboratory investigation. No site-specific contaminant concentrations, health outcomes, geotechnical parameters, or remediation efficiencies are attributed to Botswana, Malaysia, or any other location unless they are explicitly reported by the cited source. Quantitative results from individual studies are retained as case-specific evidence and are not treated as universal design values.

RESEARCH AND FINDINGS

1. Contaminated ground as a coupled geotechnical and health system

The engineering condition of contaminated soil is defined by more than its total contaminant mass. Soil mineralogy, pH, organic carbon, redox conditions, water content, pore structure, and fines content influence contaminant partitioning and mobility. At the same time, contamination may alter geotechnical behavior. Aggressive liquids can change diffuse-double-layer interactions in fine-grained soils, modify compaction response, and affect shear strength or permeability. Conversely, compaction, cementation, or chemical treatment can reduce pore connectivity and change contaminant release. This reciprocity means that geotechnical and environmental tests should not be designed as independent workstreams.

A useful problem definition begins with four questions. First, what chemicals or contaminant groups are present and in what physical and chemical forms? Second, where are they located relative to the ground surface, groundwater, buildings, and utilities? Third, which transport and exposure pathways are plausible under current and future land use? Fourth, what engineering

controls remain reliable when the ground is excavated, wetted, dried, loaded, or disturbed? Generic screening values can support early prioritization, but EPA's Regional Screening Levels are explicitly screening tools rather than automatic cleanup standards, and site-specific information may justify different conclusions (EPA, 2026b).

Figure 1 expresses this logic as a geotechnical source-pathway-receptor-control chain. The framework intentionally places transport between source and receptor because an engineered barrier, clean cover, low-permeability layer, vapour system, or treated soil matrix can interrupt exposure without necessarily removing all contaminant mass. Equally, a poorly designed intervention may move contamination from one medium to another.

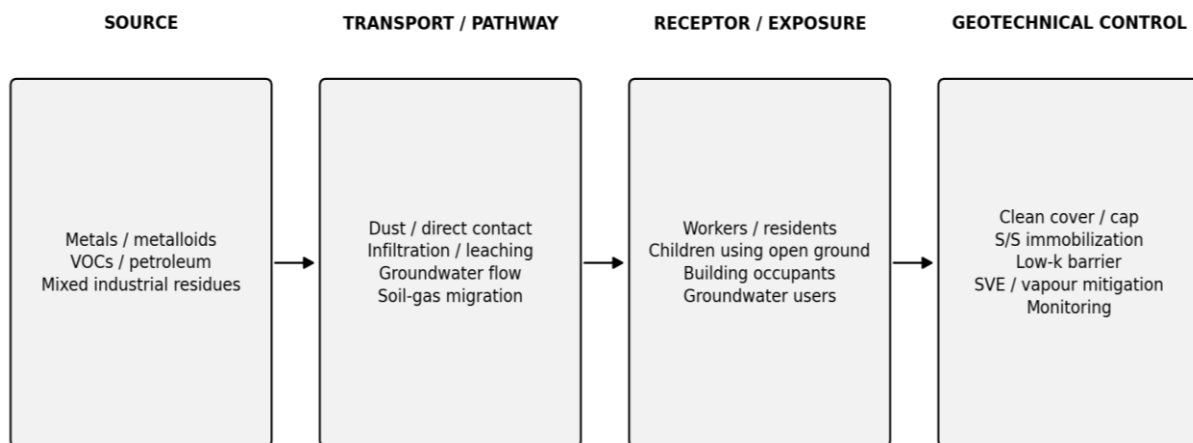


Figure 1. Geotechnical source-pathway-receptor-control framework for contaminated land. Source: Authors' original synthesis.

2. Exposure pathways that civil works can create, interrupt, or amplify

Direct contact and soil ingestion are especially relevant where contaminated surface soil remains accessible in residential areas, schools, play spaces, informal paths, gardens, or construction zones. Dust can be generated by excavation, grading, haul traffic, crushing, wind erosion, and stockpiling. The health significance depends on the contaminant, particle size, exposure duration, and receptor. Engineering controls include clean cover, paved or vegetated surfaces, moisture management during earthworks, stabilized haul routes, covered stockpiles, wheel cleaning, and controlled material handling. The important point is that dust suppression does not remediate the contaminant; it temporarily controls one pathway and therefore requires operational discipline during construction.

Leaching and groundwater transport become dominant where infiltration mobilizes soluble or weakly sorbed contaminants. The hydraulic conductivity of the soil and engineered cover, drainage gradients, preferential flow, groundwater level, and contaminant sorption all influence travel time. A cap can reduce infiltration and direct contact, but the cap itself becomes an engineered geotechnical system requiring grading, drainage, erosion resistance, settlement accommodation, and inspection. The Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR, n.d.-a) describes soil and landfill capping as containment technologies intended to separate receptors from contaminated media and restrict infiltration that could generate contaminant leaching.

Vapour intrusion requires a different conceptual model. EPA defines the pathway as migration of hazardous vapours from subsurface sources into overlying structures and provides a technical framework for assessment and mitigation (EPA, 2015). The relevant media include groundwater, bulk soil, exterior or sub-slab soil gas, and indoor air. Foundation cracks, utility

penetrations, drains, sewers, service trenches, and preferential pathways may matter. A 2023 field study at a trichloroethylene-contaminated factory in Taiwan found that shallow soil-gas and indoor-air observations could indicate concern even where bulk-soil concentrations were below the local soil-control standard; the authors also reported that soil-gas concentrations did not correlate simply with bulk-soil or groundwater concentrations under an equilibrium partitioning assumption (Fen et al., 2023). The case illustrates why volatile-contaminant assessment should not rely on one medium alone.

Table 1. Contaminant classes, geotechnical pathways, and corresponding engineering controls.

Contaminant group	Primary subsurface media	Potential health pathway	Civil/geotechnical controls	Design caution
Lead, cadmium, chromium and other relatively non-volatile metals	Surface soil, fines, pore water	Ingestion, dermal contact, inhaled dust; leaching to groundwater	Clean cover, paving, excavation of hot spots, S/S or other immobilization, hydraulic containment, dust control	Total concentration alone does not demonstrate mobility; leachability/speciation and land use matter.
Arsenic and other metalloids	Soil and groundwater; mobility is geochemically sensitive	Ingestion of contaminated water or soil; food-chain transfer in some settings	Source removal, adsorption/immobilization, low-permeability barriers, groundwater control	Redox and pH changes can alter mobility; treatment must be chemically compatible.
Chlorinated solvents and other VOCs	Vadose-zone soil gas, groundwater, preferential conduits	Indoor-air inhalation through vapour intrusion	SVE, sub-slab depressurization, vapour barriers, sealing, source treatment, monitoring	Bulk-soil concentration can be an incomplete indicator of the vapour pathway.
Petroleum hydrocarbons	Soil, groundwater, soil gas	Direct contact, vapour pathway, groundwater impact	Excavation, bioremediation, SVE/air sparging where applicable, vapour mitigation	Biodegradation and source composition strongly influence pathway persistence.
Mixed industrial residues	Heterogeneous fill, waste lenses, buried structures	Multiple concurrent pathways	Phased characterization; selective excavation; S/S; caps; barriers; institutional controls	Heterogeneity and unknown buried features create sampling and constructability uncertainty.

3. Site characterization should be designed around decisions

A contaminated-site investigation is most useful when each measurement is linked to a decision. Boreholes and trial pits that define stratigraphy should be coordinated with chemical sampling so that contaminant distributions are interpreted within hydrostratigraphic units rather than only by plan coordinates. Groundwater monitoring points should reflect flow direction and vertical gradients. Where volatile contaminants are plausible, soil-gas and sub-slab measurements may be required. Geophysical methods can support the identification of buried waste, tanks, trenches, or anomalous fill but should be verified by intrusive investigation.

Geotechnical parameters required for remediation are also remedy-specific. Capping requires settlement, slope stability, erosion, drainage, water-balance, and interface-shear information. S/S requires bench-scale treatability testing, mixing feasibility, workability, strength, permeability or hydraulic conductivity, volume increase, and leachability. Vertical barriers require hydraulic conductivity, compatibility with site groundwater and contaminants, continuity, depth to competent low-permeability strata, and control of hydraulic gradients. Soil-vapour extraction requires air permeability and knowledge of vadose-zone stratification. A generic site investigation that measures only index properties and total contaminant concentrations may therefore be insufficient for remedy design.

Screening criteria should also match the future use. Residential, commercial, industrial, recreational, and utility-corridor scenarios produce different exposure assumptions. EPA's current RSL framework provides separate comparison values for residential and commercial/industrial exposure scenarios and allows parameters to be modified for site-specific screening (EPA, 2026b). The engineering consequence is that land-use planning and remediation design must be developed together. A remedy that is acceptable for a controlled industrial slab may not be suitable for unrestricted residential soil contact.

4. Transport mechanics: why hydraulic control and sorption matter

For dissolved contaminants, transport through a saturated or unsaturated porous medium can be conceptualized as a combination of advective transport with moving pore water and dispersive/diffusive transport caused by concentration gradients and pore-scale mixing. A simplified one-dimensional mass-flux expression is useful for screening the direction and relative importance of these mechanisms:

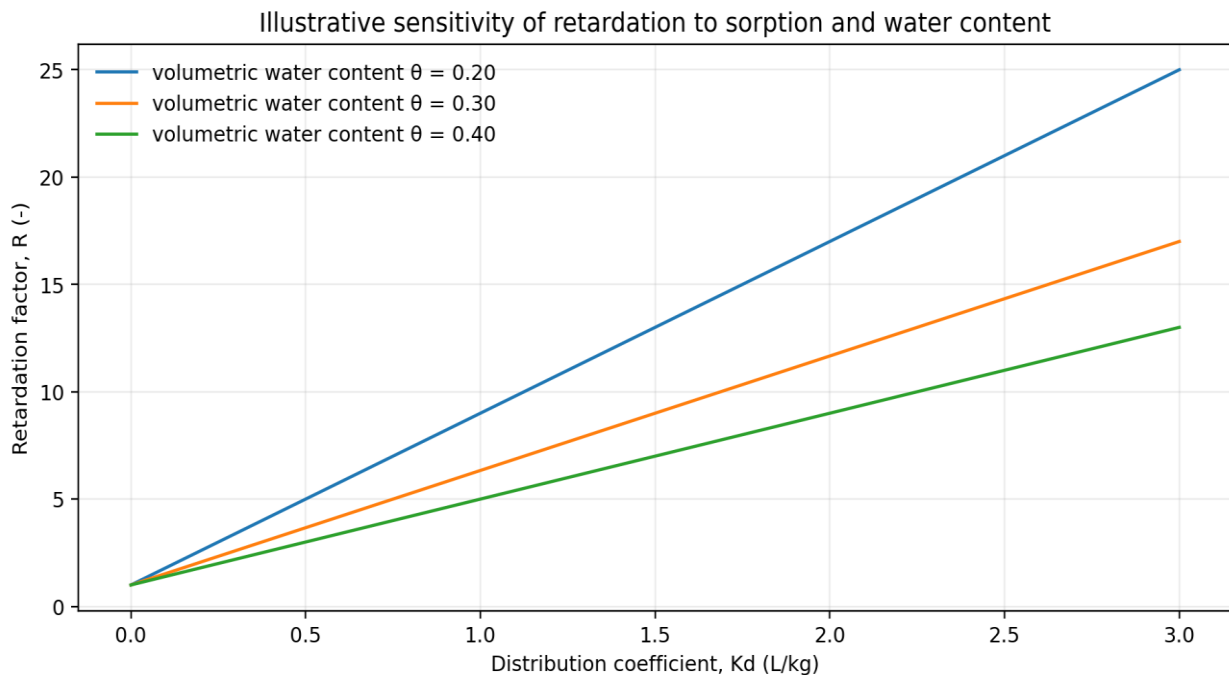
$$J = qC - \theta D_e (\partial C / \partial z) \quad (1)$$

where J is contaminant mass flux per unit area and time, q is Darcy water flux, C is dissolved contaminant concentration, θ is volumetric water content, D_e is an effective dispersion/diffusion coefficient, and z is the transport coordinate. Equation (1) is a conceptual engineering relationship, not a substitute for a calibrated site model. It emphasizes that reducing infiltration or hydraulic conductivity can lower the advective component, while concentration gradients can still drive transport when hydraulic flux is small.

For contaminants that sorb approximately linearly to the soil over the concentration range of interest, a retardation factor can be written as:

$$R = 1 + (\rho_b K_d / \theta) \quad (2)$$

where R is the dimensionless retardation factor, ρ_b is dry soil bulk density expressed consistently with the units of the distribution coefficient, K_d is the linear distribution coefficient, and θ is volumetric water content. Higher R implies that the sorbing contaminant front moves more slowly than the pore water in this idealized model. K_d is not an intrinsic universal constant: it can change with mineralogy, pH, ionic strength, organic matter, competing ions, redox state, and contaminant concentration. Consequently, Equation (2) should be used only after verifying whether linear-equilibrium sorption is a reasonable approximation.



Assumed dry bulk density = 1.6 kg/L. Illustrative calculation only; not field data.

Figure 2. Illustrative sensitivity of the linear-sorption retardation factor to K_d and volumetric water content. Assumed dry bulk density is 1.6 kg/L. The curves are calculated from Equation (2) and are not field measurements.

Figure 2 is deliberately hypothetical. It shows why the same hydraulic system can produce very different contaminant travel times when sorption differs, and why using a literature K_d without compatibility testing can create false confidence. Recent analytical work on engineered barrier systems similarly demonstrates the importance of cover type, hydraulic conductivity, barrier thickness, and retardation in long-term contaminant breakthrough (Shi et al., 2024).

5. Stabilization/solidification should satisfy environmental and geotechnical performance together

Stabilization/solidification is especially relevant to metal-contaminated soil because the objective is normally immobilization rather than destruction. FRTR (n.d.-b) distinguishes solidification, which changes physical properties by binding or encapsulating contaminated media, from stabilization, which reduces contaminant mobility through chemical reactions or sorption. In practice the processes often occur together. For a civil engineer, the treated mass must therefore be evaluated simultaneously as a containment material, a load-bearing ground, and a chemically reactive system.

Recent experimental evidence demonstrates the potential magnitude of these coupled effects but also the danger of treating one study as a design specification. Komaei et al. (2025) tested lead-, chromium-, and cadmium-contaminated clayey sand treated with calcium hydroxide and sodium-carbonate-activated slag, with natural zeolite in selected mixtures. Their 20% treatment achieved a 28-day unconfined compressive strength of 4449 kPa, while reported reductions in Pb, Cr, and Cd leachability were 95%, 92%, and 98%, respectively. Hydraulic conductivity was also substantially reduced. These are laboratory results for a particular soil, contaminant preparation, binder chemistry, dosage, and curing regime. The values demonstrate feasibility but should not be copied to another site without treatability testing and durability assessment.

Bio-mediated immobilization is also advancing. Zhu et al. (2024) investigated calcium-carbide-residue-enhanced microbially induced calcium carbonate precipitation for cadmium-contaminated silty clay. At 28 days, the added residue increased UCS by factors of 3.8 to 4.2 relative to samples treated without the residue and reduced cadmium leaching by 38.9% to 69.2% in the tested conditions. The authors attributed immobilization to coprecipitation, adsorption, ion exchange, and pore filling. The study is promising, but high metal concentrations can suppress microbial activity, and urea-based MICP can create ammonia-related environmental concerns if poorly managed. Field-scale application therefore requires chemical, microbiological, hydraulic, and construction controls rather than strength testing alone.

A 2026 pilot-scale study by Liu et al. investigated Cd, Pb, and As co-contaminated soil using an iron- and aluminium-oxide-based remediation agent, followed by resource utilization of treated material. The work is valuable because it moves beyond small laboratory specimens to pilot-scale trials and engineering application. It also reinforces a central principle of S/S design: the optimum dosage is not necessarily the maximum dosage. Treatment should be selected from performance envelopes that include leachability, strength, durability, constructability, volume increase, cost, and environmental footprint.

6. Covers and barrier systems are geotechnical structures, not surface finishes

A cover system may consist of clean soil, compacted low-permeability soil, geomembrane or geosynthetic layers, drainage media, protective soil, vegetation, or a paved surface. Its functions can include preventing direct contact, reducing infiltration, limiting erosion and windblown dust, controlling gas, and providing a usable final surface. These functions can conflict. For example, a very low-permeability cap may increase lateral runoff and erosion if surface drainage is poor; a vegetated cap may improve erosion resistance but can be damaged by deep-rooted plants; a rigid pavement may suppress direct contact but crack under differential settlement.

Field evidence is essential because capillary-barrier behavior depends on rainfall, material grading, antecedent water content, interface geometry, vegetation, and construction quality. Wu et al. (2024) monitored a three-layer capillary-barrier landfill cover constructed using local soils and construction waste under natural conditions. The field study demonstrated the value of observing water storage and infiltration under actual weather rather than inferring performance only from laboratory hydraulic properties. Such evidence does not imply that the same layer thicknesses or materials are transferable to contaminated brownfields, but it supports the principle that field water-balance performance is a meaningful long-term verification metric. Barrier service life also depends on contaminant transport rather than hydraulic conductivity alone. Shi et al. (2024) developed an analytical model for water infiltration and contaminant transport through a barrier system consisting of a cover and cut-off wall. Their analysis showed that cover configuration, wall hydraulic conductivity, thickness, and retardation can materially change long-term performance. The engineering implication is that a low-permeability specification should be paired with contaminant compatibility and transport assessment, particularly where the design objective is decades of containment.

7. Volatile contaminants require pathway-specific engineering

For volatile organic compounds, a clean cap or stabilized surface may not be sufficient. Soil-vapour extraction applies a vacuum to the vadose zone to induce controlled airflow and remove volatile and some semivolatile contaminants from unsaturated soil (FRTR, n.d.-c). The technology is most effective where the source is above the water table and the soil has adequate

air permeability. Fine-grained layers, high water saturation, preferential pathways, and large treatment depths can reduce effectiveness. Extracted vapours may also require treatment before discharge.

Where redevelopment places a building above residual volatile contamination, mitigation can be incorporated into the foundation system. Options include vapour barriers, sub-slab depressurization, gas-permeable layers, sealed penetrations, and monitoring points. EPA's current technical guide emphasizes multiple lines of evidence for assessing the vapour-intrusion pathway, and the VISL tools provide risk-based screening concentrations for groundwater, soil gas, and indoor air (EPA, 2015, 2026c). These tools are screening aids and should not be confused with structural design criteria or site-specific proof of safety.

The Fen et al. (2023) field case is important because shallow soil gas remained relevant even after groundwater remediation reduced groundwater concentrations. The case illustrates a common redevelopment risk: remediation focused on one medium can leave a separate source zone or pathway beneath a slab. Geotechnical investigation should therefore identify unsaturated lenses, paved areas that limit venting, utility corridors, and foundation details that may influence vapour accumulation and migration.

8. Recent evidence and what it does not prove

Table 2. Selected recent evidence relevant to health-protective geotechnical remediation and the limits of interpretation.

Study	Evidence type	What the evidence supports	Interpretation boundary
Fen et al. (2023), Taiwan factory	Field soil, groundwater, soil-gas and indoor-air investigation of TCE vapour intrusion	Shallow soil gas and indoor-air data identified pathway concerns that were not represented simply by bulk-soil concentration.	Single contaminated industrial site; contaminant-, building- and climate-specific. Numerical thresholds are not universal.
Wu et al. (2024)	Field monitoring of a three-layer capillary-barrier landfill cover	Demonstrated natural-condition infiltration and storage behaviour of a layered cover using local materials.	Landfill-cover configuration; not a universal brownfield cap design.
Shi et al. (2024)	Analytical barrier-system model	Cover type, hydraulic conductivity, wall thickness and retardation strongly influenced calculated service performance.	Model assumptions require site-specific calibration and do not replace field verification.
Zhu et al. (2024)	Laboratory CCR-enhanced MICP treatment of Cd-contaminated silty clay	Treatment increased UCS and reduced Cd leaching under tested conditions; immobilization mechanisms were investigated.	Laboratory-prepared contamination, controlled curing and one soil type; field durability and ammonia management remain important.
Komaei et al. (2025)	Laboratory S/S of Pb-, Cr- and Cd-contaminated clayey sand	Large increases in UCS and reductions in metal leachability and hydraulic conductivity were reported for activated-slag-based treatment.	Specific binder chemistry, dosages and contaminated soil; results are not design values for other sites.

Liu et al. (2026)	Batch, pilot-scale and engineering application for Cd/Pb/As co-contaminated soil	Demonstrated multi-metal immobilization and resource-utilization pathway at pilot scale.	Site-specific chemistry and treatment agent; long-term reuse should remain performance-monitored.
-------------------	--	--	---

9. Remedy selection should follow contaminant behavior and future land use

No single remediation technology is appropriate for every contaminated site. EPA's current remediation technology resources and FRTR screening matrix explicitly treat technology selection as a structured process based on media, contaminants, applicability, cost, time, and limitations (EPA, 2025; FRTR, n.d.-d). A geotechnical remedy-selection process should add constructability, foundation interaction, settlement, earthworks sequencing, utility conflicts, material reuse, dewatering, and long-term accessibility for monitoring.

Table 3. Geotechnical remedy-selection matrix for contaminated soil redevelopment.

Remedy	Most suitable when	Primary advantage	Key geotechnical/health limitation
Selective excavation and off-site disposal	Localized high-concentration hot spots; incompatible fill; redevelopment obstruction	Rapid source removal; clear verification by excavation limits	Truck movements, disposal capacity, worker exposure, excavation stability, replacement fill and carbon/cost burden
Clean soil cover or engineered cap	Widespread shallow non-volatile contamination where containment is acceptable	Interrupts direct contact; can reduce infiltration and dust	Settlement, cracking, erosion, drainage, future trenching, institutional control and maintenance
Stabilization/solidification	Metals/inorganics and selected mixed wastes where immobilization and ground improvement are compatible	Reduces mobility; can increase strength and reduce permeability	Treatability, pH sensitivity, volume increase, mixing uniformity, long-term leaching and durability
Vertical cut-off / low-permeability barrier	Lateral groundwater migration from a source zone	Reduces advective migration and can isolate source	May redirect groundwater; requires keying, continuity, compatibility and hydraulic control
Soil-vapour extraction	Volatile contaminants in permeable unsaturated soil	Actively removes vapour-phase contaminant mass	Less effective in wet/fine soil; vapour treatment and rebound monitoring may be required
Vapour mitigation beneath buildings	Residual volatile source where building occupancy is otherwise acceptable	Interrupts indoor-air pathway without requiring complete source removal	Requires commissioning, pressure-field verification, maintenance and contingency for system failure

Bio-immobilization /
MICP-based treatment

Selected metal-
contaminated soils
where biological
process can be
controlled

Potential combined
immobilization and
ground improvement

Microbial inhibition, reagent
delivery, by-products,
heterogeneity and field-scale
durability

10. Construction-stage controls are part of the remediation design

Redevelopment can temporarily increase exposure even when the final remedy is protective. Excavation breaks crusted surfaces, exposes deeper contamination, creates dust, changes drainage, and may intercept contaminated groundwater or buried structures. Temporary works should therefore be included in the remedial design rather than delegated to generic site housekeeping. The plan should define exclusion zones, sequence contaminated and clean earthworks, segregate stockpiles, control haul routes, manage dewatering, specify dust suppression, provide wheel and equipment cleaning, and establish stop-work criteria for unexpected contamination.

Worker health and community protection should also be separated conceptually. Personal protective equipment and occupational exposure controls protect workers, but they do not control off-site migration. Community protection depends more heavily on source containment, enclosed handling where needed, dust and runoff control, covered transport, perimeter monitoring, traffic management, and rapid response to spills. A health-protective geotechnical method statement should identify both sets of controls.

Construction quality assurance is especially important for in situ mixing and caps. For S/S, verification can include binder dosage records, mixing energy or pass counts, core sampling, UCS, permeability, and leachability. For caps, it can include layer thickness, compaction, geomembrane seams, drainage grades, cover soil placement, and as-built survey. Acceptance should be based on performance criteria rather than only material delivery records.

11. Long-term verification must test the failure modes of the remedy

Containment remedies require long-term stewardship because contaminant mass remains on site. Monitoring should be designed around credible failure modes: contaminant breakthrough, increasing leachability, hydraulic bypass, cap infiltration, settlement, erosion, cracking, preferential vapour entry, groundwater rise, corrosion or clogging of drainage systems, and land-use change. A stable contaminant concentration at one monitoring well is not sufficient evidence that every pathway remains controlled.

Table 4. Long-term performance indicators for health-protective contaminated-ground remediation.

Remedy component	Performance indicators	Failure modes to detect	Required response philosophy
S/S treated mass	UCS or other strength criterion; hydraulic conductivity; leachability; pH/speciation where relevant; settlement/cracking	Treatment non-uniformity, chemical aging, carbonation, wet-dry cycling, aggressive groundwater	Define re-treatment, cover enhancement, drainage modification or access restriction triggers.
Engineered cap	Surface condition, settlement, erosion, drainage, infiltration/water balance, vegetation/rooting, penetrations	Cracking, ponding, erosion, differential settlement, trenching or unauthorized excavation	Repair criteria and inspection frequency should be specified before handover.

Cut-off wall/barrier	Groundwater head on both sides, downgradient concentrations, wall continuity indicators where available	Bypass, defects, chemical incompatibility, excessive head difference	Contingency pumping or barrier repair should be considered in design.
Vapour mitigation	Sub-slab pressure field, system flow/pressure, indoor air or sub-slab confirmation where appropriate	Fan failure, blocked piping, membrane damage, new penetrations	Alarm, inspection, backup or occupancy-response plan.
Excavated/remediated area	Confirmatory soil samples, imported-fill quality, survey of excavation limits	Residual hot spots, cross-contamination during backfill	Predetermined acceptance grid and contingency excavation.
Groundwater pathway	Water level, plume chemistry, indicator parameters and trends	Rising groundwater, plume migration, cross-media transfer	Monitoring network should reflect hydrogeology rather than property boundaries alone.

12. A health-protective geotechnical hierarchy for redevelopment

The evidence supports a hierarchy rather than a single preferred technology. The first priority is to remove or avoid exposure when that is technically and economically proportionate, for example by excavating discrete hot spots or changing an alignment so that sensitive uses are not placed over a source zone. Where removal is impractical, the second priority is to interrupt exposure pathways through clean cover, capping, drainage, erosion control, or access restriction. The third priority is to reduce contaminant mobility using S/S or another compatible immobilization method. Volatile contamination then requires a distinct vapour-control layer of the hierarchy. All remaining-contaminant remedies ultimately depend on verification and stewardship.

Figure 3 expresses this ordering. The lower levels are not less important; rather, they are increasingly dependent on continued operation, inspection, monitoring, or institutional controls. A remedy that relies on a fan, pump, maintained cap, restricted land use, or functioning drainage system should be evaluated for what happens when that dependency fails. This is particularly important where future owners may not know the original contamination history.

In hot, seasonally dry or mining-influenced regions, additional attention should be given to desiccation cracking, dust generation, intense short-duration rainfall, erosion, groundwater variability, and the availability of suitable low-permeability cover materials. These are design considerations, not claims about measured conditions at a particular Botswana or Malaysian contaminated site. The framework is therefore applicable as a decision structure, but site data remain essential before specifying a remedy.

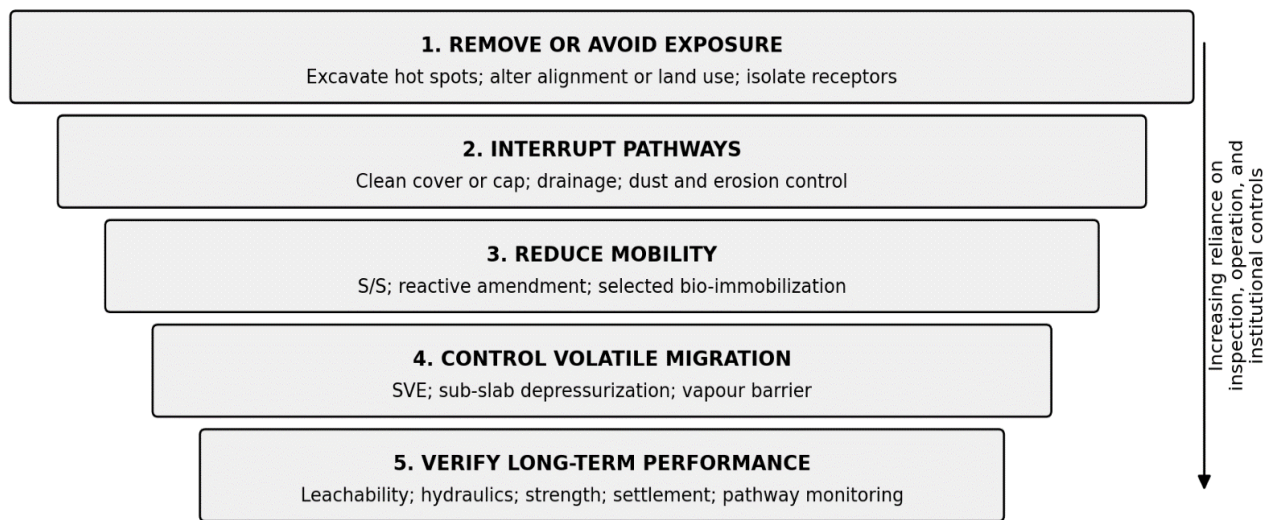


Figure 3. Health-protective geotechnical control hierarchy for contaminated-site redevelopment. Source: Authors' original synthesis.

13. Implications for engineering practice

Three practical findings emerge from this review. First, contaminated-ground design should specify pathway performance, not only chemical concentration. Examples include maximum infiltration through a cap, acceptable leachability after S/S, required vapour pressure field beneath a building, or allowable hydraulic conductivity of a barrier. Second, geotechnical and environmental acceptance criteria should be checked on the same treated or constructed system. High strength does not prove low contaminant mobility, and low leachability does not prove that a cap will remain stable or a treated mass will support the intended structure.

Third, monitoring should be treated as part of the design. Instruments, sampling ports, inspection access, drainage cleanouts, and baseline measurements should be installed before the site is covered or occupied. The data should be tied to action thresholds and responsibilities. This approach is more defensible than a generic statement that the site will be monitored because it identifies what failure is being sought and what will happen if it is detected.

The safest redevelopment strategy is therefore not necessarily the one that removes the most contaminant mass, nor the one that produces the highest treated-soil strength. It is the option that reliably breaks the important exposure pathways for the intended land use while remaining mechanically, hydraulically, chemically, and operationally stable over the required service period.

CONCLUSION

Contaminated soils require integrated civil, geotechnical, environmental, and public-health reasoning because the ground simultaneously controls structural performance and contaminant transport. This review shows that source concentration alone is an incomplete basis for safe redevelopment. Direct contact, dust, infiltration and leaching, groundwater transport, and vapour intrusion must be identified as separate pathways and linked to specific receptors and failure modes. Recent laboratory and pilot-scale studies demonstrate that stabilization/solidification and bio-mediated immobilization can substantially reduce heavy-metal mobility while improving geotechnical properties, but reported efficiencies are material- and site-specific and should not be adopted as universal design values. Field and analytical studies of cap and barrier systems likewise show that infiltration, hydraulic conductivity, sorption, thickness, and long-term condition control containment performance. For volatile

contaminants, multiple media may be needed to characterize the pathway adequately. A defensible health-protective strategy therefore follows a hierarchy of source removal or avoidance, pathway interruption, mobility reduction, vapour control, and long-term verification. The most important design change is conceptual: remediation should be accepted using coupled environmental and geotechnical performance criteria, with monitoring systems and contingency actions designed before construction. This approach supports safe reuse while reducing the risk that mechanical deterioration, hydraulic change, construction disturbance, extreme weather, or future land-use change will re-open previously controlled exposure pathways.

REFERENCES

- Federal Remediation Technologies Roundtable. (n.d.-a). Technology Screening Matrix: Landfill and soil capping. <https://frtr.gov/matrix/Landfill-and-Soil-Capping/>
- Federal Remediation Technologies Roundtable. (n.d.-b). Technology Screening Matrix: Solidification and stabilization. <https://www.frtr.gov/matrix/Solidification-and-Stabilization/>
- Federal Remediation Technologies Roundtable. (n.d.-c). Technology Screening Matrix: Soil vapor extraction. <https://frtr.gov/matrix/Soil-Vapor-Extraction/>
- Federal Remediation Technologies Roundtable. (n.d.-d). Technology Screening Matrix. <https://frtr.gov/matrix/>
- Fen, C.-S., Zhuang, Y.-L., Lee, Y.-C., Lin, Y. L., Huang, Y., & Lee, S.-A. (2023). Analysis of field data for risk assessment of vapor intrusion at a trichloroethylene-contaminated site: A case study in Taiwan. *Journal of Ecological Engineering*, 24(12), 112–123. <https://doi.org/10.12911/22998993/172505>
- Komaei, A., Moazami, A., Ghadir, P., Soroush, A., & Javadi, A. A. (2025). Stabilization and solidification of lead, chromium, and cadmium-contaminated clayey sand using calcium hydroxide and sodium carbonate-activated materials. *Science of the Total Environment*, 981, 179612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179612>
- Liu, J., Liu, N., Li, Y., Yang, C., Liang, L., Gao, J., Xu, Y., & Zuo, X. (2026). Pilot-scale remediation, resource utilization, and long-term stabilization of cadmium, lead and arsenic co-contaminated soil. *Scientific Reports*, 16, 24095. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-55113-8>
- Shi, Y., Xie, H., Wu, Y., Ci, M., & Chen, X. (2024). Analytical study of water infiltration and contaminant transport in barrier systems. *Water Research*, 267, 122455. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122455>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2015). Technical guide for assessing and mitigating the vapor intrusion pathway from subsurface vapor sources to indoor air. <https://www.epa.gov/vaporintrusion/technical-guide-assessing-and-mitigating-vapor-intrusion-pathway-subsurface-vapor>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2025). Remediation technologies for cleaning up contaminated sites. <https://www.epa.gov/remedytech/remediation-technologies-cleaning-contaminated-sites>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2026a). Environmental contamination at brownfield sites. <https://www.epa.gov/brownfields/environmental-contamination-brownfield-sites>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2026b). Regional Screening Levels (RSLs). <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2026c). Vapor Intrusion Screening Level calculator. <https://www.epa.gov/vaporintrusion/vapor-intrusion-screening-level-calculator>

World Health Organization. (2026). Lead poisoning and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

Wu, Y., Ren, J., & Liu, J. (2024). Field investigation of water infiltration into a three-layer capillary barrier landfill cover system using local soils and construction waste. *Buildings*, 14(1), 139. <https://doi.org/10.3390/buildings14010139>

Zhu, P., Wang, Y., Jin, Y., Xiong, Y., Chen, G., & Ruan, F. (2024). Behaviour and mechanism of cadmium immobilization in contaminated soil by calcium carbide residue-enhanced MICP. *Scientific Reports*, 14, 25409. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75574-z>

HEALTH-PROTECTIVE CIVIL ENGINEERING FOR VULNERABLE ROAD USERS: SAFE-SYSTEM SPEED MANAGEMENT, CROSSING DESIGN, AND ACTIVE-MOBILITY INFRASTRUCTURE

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia (UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Road traffic injury is a public-health problem shaped directly by civil-engineering decisions about street geometry, operating speed, crossing opportunity, visibility, and separation between users. This critical integrative review examines how Safe System principles can be translated into health-protective road infrastructure for pedestrians and cyclists, with emphasis on rapidly urbanizing settings where motorized and non-motorized travel frequently interact. Authoritative guidance from the World Health Organization and the U.S. Federal Highway Administration is integrated with recent field, quasi-experimental, before-and-after, and observational studies published between 2024 and 2026. The evidence consistently supports managing kinetic energy at the infrastructure level rather than relying only on road-user compliance. Lower target speeds, self-enforcing street geometry, raised pedestrian crossings, refuge islands, protected cycling space, improved sight distance, appropriate lighting, and conflict separation can reduce the probability or severity of harmful encounters, although effect sizes are context-dependent. A 2025 Toronto quasi-experimental study, for example, found that automated speed enforcement in school zones reduced the proportion of speeding vehicles by 45% and lowered the 85th-percentile speed by 10.68 km/h; these outcomes demonstrate speed reduction, not directly injury reduction. A 2024 before-and-after study of parking-protected bicycle lanes reported corridor-dependent safety effects, illustrating why facility design, access density, and intersection treatment must be evaluated together. The paper develops a civil-engineering framework linking road function, target speed, conflict geometry, human tolerance, monitoring, and post-implementation evaluation. Two transparent mechanics relationships and three original figures are used for explanation only; no new crash dataset or field measurements are claimed.

Keywords: road safety; vulnerable road users; Safe System; speed management; pedestrian crossings; cycling infrastructure; civil engineering.

INTRODUCTION

Road traffic injury is simultaneously a transport problem, a public-health problem, and an infrastructure-design problem. The World Health Organization (WHO, 2023a) estimates approximately 1.19 million road traffic deaths each year and identifies road traffic injury as the leading cause of death among people aged 5–29 years. More than half of global road deaths occur among pedestrians, cyclists, and motorcyclists, with the burden concentrated

disproportionately in low- and middle-income countries. These figures are not merely indicators of individual road-user behaviour. They reflect the interaction of land use, road hierarchy, street geometry, vehicle speed, crossing provision, lighting, enforcement, emergency response, and the degree to which the road system anticipates ordinary human error.

Civil engineering influences this burden before a crash occurs. Lane configuration affects operating speed and overtaking behaviour. Intersection geometry determines whether turning vehicles meet pedestrians at high or low angles and speeds. Median design changes crossing distance and the number of traffic streams that must be judged simultaneously. Sidewalk continuity influences whether pedestrians remain separated from moving traffic. Cycling facilities can either separate users or transfer conflict to intersections and driveways. Lighting and sight-distance decisions affect detection time, while pavement condition, friction, drainage, and maintenance affect the distance available for drivers to respond. Consequently, road safety should be treated as a performance requirement of infrastructure rather than as an optional operational add-on.

The Safe System approach provides a useful basis for this interpretation because it accepts that people make mistakes and that the human body has limited tolerance to crash forces. The engineering objective is therefore not simply to reduce the number of mistakes but to design a transport system in which foreseeable mistakes are less likely to produce death or serious injury. Federal Highway Administration (FHWA) guidance organizes infrastructure responses into a hierarchy that prioritizes removal of severe conflicts, reduction of vehicle speeds, management of conflicts in time, and measures that increase attentiveness and awareness (FHWA, 2024). WHO speed-management guidance similarly emphasizes that speed affects both crash probability and injury severity and that areas with frequent interaction between motor vehicles and vulnerable road users require especially careful speed management (Global Road Safety Partnership [GRSP], 2023).

This paper presents a critical integrative review of health-protective road infrastructure for pedestrians and cyclists. It is written from a civil-engineering perspective and concentrates on design, operation, and monitoring rather than clinical treatment. Authoritative international and engineering guidance is combined with recent empirical studies addressing speed management, pedestrian crossings, protected bicycle infrastructure, school-zone enforcement, urban form, and active-travel behaviour. The paper does not claim a new crash database, field survey, microsimulation, or Botswana-specific injury estimate. Quantitative findings are reported only when traceable to their original studies, and illustrative calculations are labelled as such. The objective is to develop a defensible design framework that helps engineers move from reactive crash treatment toward proactive management of speed, conflict, exposure, and human vulnerability.

RESEARCH AND FINDINGS

Review approach and evidence boundaries

The review was structured around five engineering questions: where severe pedestrian and cyclist conflicts arise; how road design controls operating speed; how crossings and intersections alter conflict geometry; how visibility, accessibility, and separation modify exposure; and how agencies can verify whether a treatment is achieving the intended safety performance. Sources include WHO road-safety publications, FHWA Safe System guidance, and peer-reviewed studies published mainly from 2024 through 2026. Earlier engineering relationships are used only when they represent basic mechanics rather than current epidemiological estimates.

The evidence base is heterogeneous. A global status report describes population burden but does not isolate the effect of an individual road feature. Observational studies can identify associations between urban form and crashes but cannot fully remove confounding by exposure, travel behaviour, enforcement, or land use. Natural experiments and before-and-after studies provide stronger evidence of change but remain sensitive to comparison-site selection, regression to the mean, traffic redistribution, implementation quality, and time trends. Field driving experiments can reveal speed response to a crossing treatment but usually involve limited sites and participants. Accordingly, this paper separates three kinds of statement: established Safe System principles, context-specific empirical findings, and engineering synthesis proposed by the authors.

This distinction is particularly important for health interpretation. A reduction in mean or 85th-percentile speed is not itself an observed reduction in injury. A lower crash count is not automatically proof of lower individual risk if walking or cycling exposure changed substantially. Conversely, a treatment that increases walking or cycling may increase the absolute number of users exposed while improving risk per trip. Safety evaluation should therefore combine severity outcomes, exposure, operating conditions, and surrogate measures rather than relying on a single indicator.

Road design, kinetic energy, and human tolerance

A health-protective road is designed around the energy that can be transferred to a human body when prevention fails. The most elementary relationship is vehicle kinetic energy. For a vehicle of mass m travelling at speed v , kinetic energy is proportional to the square of speed. This does not mean that all crash energy is transferred to a pedestrian or cyclist, because braking, impact geometry, vehicle front-end design, evasive motion, and secondary impacts modify the event. Nevertheless, the squared speed term explains why relatively modest increases in operating speed can materially increase the energy that must be managed in a collision.

Recent injury-risk research reinforces the need to consider collision context rather than a single nominal speed. Campolettano et al. (2024) reconstructed vulnerable-road-user collisions from naturalistic dense-urban driving data and showed that collision circumstances such as visibility occlusion, road-user behaviour, and vehicle travel behaviour were associated with differences in collision speed and estimated injury risk. Their work is useful for understanding variability, but the injury estimates were model-based because objective medical outcomes were not available for the events. The appropriate engineering lesson is therefore not a universal injury threshold; it is that road design should reduce both the likelihood of high-speed contact and the uncertainty surrounding conflicts.

The Safe System response is redundancy. Where pedestrians and cyclists must interact with motor vehicles, designers should first seek to remove high-energy conflicts through separation or route choice. If conflict cannot be removed, the roadway should make a lower target speed natural and credible. If users must cross paths, conflict duration and geometry should be managed. Visibility and warnings then provide additional protection, but they should not substitute for stronger measures where severe conflicts remain. This sequence is consistent with the FHWA roadway-design hierarchy and avoids treating signs or education as equivalent to geometric risk reduction.

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

Equation 1. Basic kinetic-energy relationship used to illustrate the squared dependence on vehicle speed; it is not an injury-risk equation.

In Equation (1), E_k is vehicle kinetic energy (J), m is vehicle mass (kg), and v is vehicle speed (m/s). For the same mass, increasing speed from 30 to 50 km/h multiplies kinetic energy by $(50/30)^2$, or approximately 2.78. This calculated ratio describes vehicle energy, not the fraction delivered to a person in a real collision.

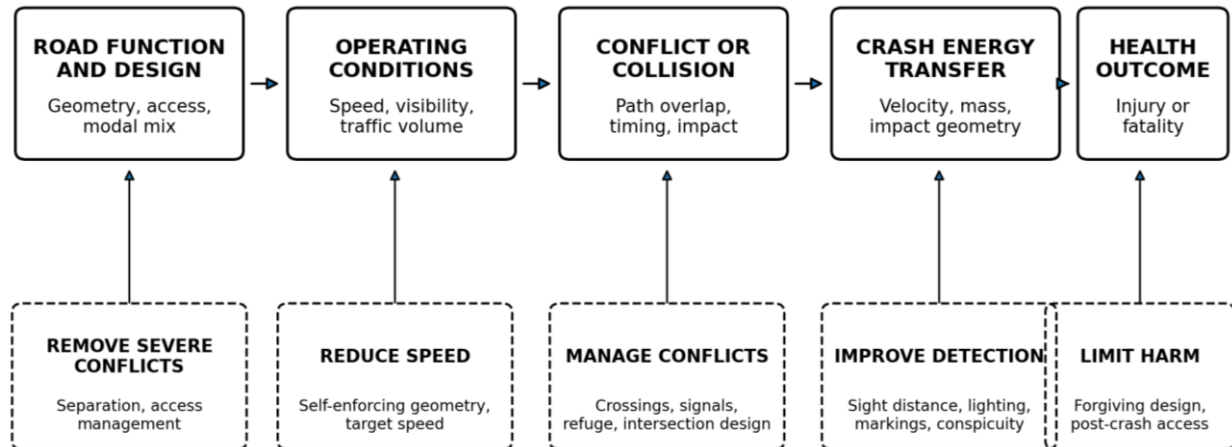


Figure 1. Civil-engineering pathway linking road design, operating conditions, conflict, energy transfer, and health outcome, with redundant Safe System controls. Authors' original synthesis based on WHO and FHWA Safe System principles.

Table 1. Major road-infrastructure risk mechanisms and health-protective civil-engineering controls.

Risk mechanism	Civil-engineering variable	Potential health consequence	Preferred control direction
High motor-vehicle speed where users mix	Target speed, lane geometry, alignment, roadside cues	Greater collision probability and higher impact energy	Align posted, target, and operating speed; use self-enforcing geometry and context-appropriate limits.
Long or complex pedestrian crossing	Crossing width, number of lanes, refuge, signal timing	Longer exposure and more simultaneous conflict decisions	Shorten crossings, provide refuge, manage turns, and separate movements in time where needed.
Pedestrian or cyclist hidden from view	Parking, vegetation, street furniture, curvature, lighting	Late detection and reduced avoidance time	Protect sight lines, set parking back from crossings, provide appropriate lighting, and manage speed.
Cyclist exposed to overtaking or turning traffic	Facility separation, buffer, driveway density, junction layout	Side-swipe, turning, or angle collision risk	Provide continuous separation where feasible and design conflict points explicitly at accesses and intersections.
Road design depends mainly on compliance	Wide high-speed geometry with signs or warnings only	Residual severe-injury risk when a user makes a predictable mistake	Prioritize conflict removal and speed reduction; use enforcement and warnings as redundancy, not substitutes.

Speed management as an infrastructure function

Speed is often discussed as a driver-choice variable, yet operating speed is also a product of road design. Long uninterrupted sight lines, generous lane widths, large corner radii, multiple same-direction lanes, weak roadside enclosure, and wide intersection approaches can communicate a high-speed operating environment even where a lower speed is posted. A Safe System treatment seeks consistency among road function, target speed, posted speed, and the cues embedded in geometry. Where the intended function includes frequent walking, cycling, schools, transit access, or local frontage activity, high operating speeds create an incompatible energy environment.

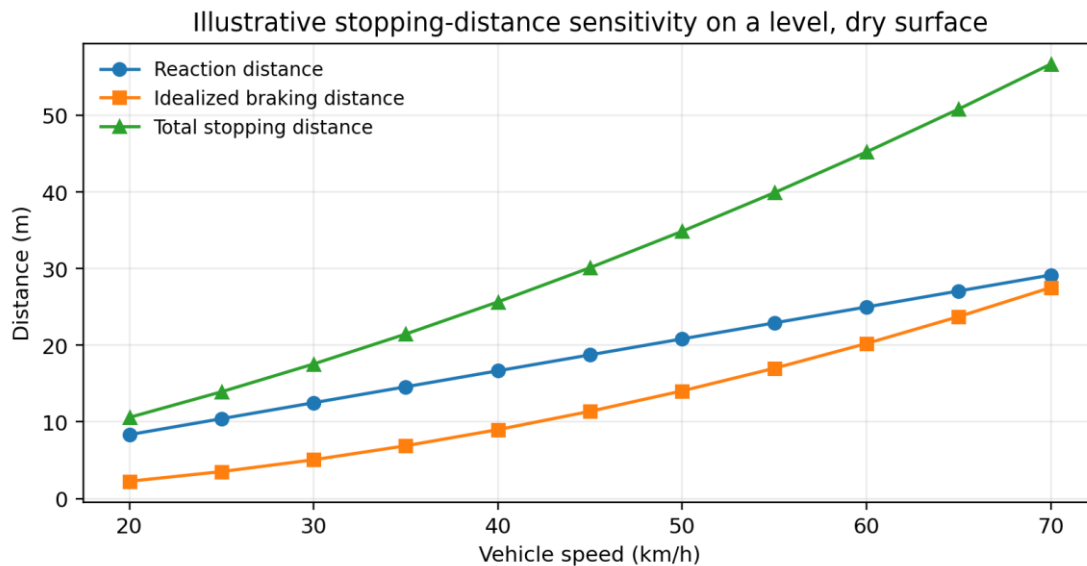
WHO guidance released in 2025 recommends 30 km/h limits in locations where pedestrians, cyclists, and motor vehicles frequently mix, but the limit should be understood as part of a broader system rather than a sign-only intervention (WHO, 2025). Yannis and Michelaraki (2025) reviewed evidence from city-level 30 km/h programmes and reported broad safety and public-health benefits across the literature. The reviewed interventions, however, differ in enforcement, street redesign, baseline speeds, road type, and geographic coverage. It would therefore be misleading to apply a single percentage crash reduction to every city or corridor. The more defensible conclusion is that lower urban speed environments are consistently aligned with injury minimization, while implementation quality determines how much operating speed changes.

A simple stopping-distance relationship illustrates why speed management also changes the opportunity to avoid a collision. For a level road and a simplified constant-friction braking model, total stopping distance can be represented as reaction distance plus braking distance. The calculation is deliberately idealized: real braking performance depends on tyre condition, road friction, gradient, vehicle systems, driver state, weather, and perception complexity. It should not be substituted for the stopping-sight-distance procedures in an applicable road-design standard. Its value here is explanatory, showing that the braking component grows approximately with the square of speed while reaction distance grows linearly.

$$d_s = v t_r + v^2 / (2 \mu g) \quad (2)$$

Equation 2. Simplified level-road stopping-distance relationship for explanatory sensitivity analysis; not a substitute for an applicable road-design standard.

In Equation (2), d_s is total stopping distance (m), v is initial speed (m/s), t_r is assumed perception-reaction time (s), μ is an idealized tyre-pavement friction coefficient, and g is gravitational acceleration (9.81 m/s²). Figure 2 uses $t_r = 1.5$ s and $\mu = 0.70$ solely to demonstrate sensitivity. It is not based on measurements from a study site.



Assumptions: reaction time = 1.5 s, friction coefficient = 0.70, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Calculated illustration; not field measurements or a design-code stopping-sight-distance specification.

Figure 2. Illustrative reaction, braking, and total stopping-distance sensitivity to speed for stated hypothetical assumptions. Calculated illustration by the authors; not field measurements and not a design-code stopping-sight-distance curve.

Self-enforcing geometry and pedestrian crossings

Crossings concentrate interactions between pedestrians and vehicles, so their design should do more than mark the pavement. The engineering problem includes approach speed, visibility, crossing distance, number of lanes, yielding behaviour, turning movements, pedestrian walking speed, accessibility, drainage, lighting, and the possibility that queued or parked vehicles obscure a person entering the carriageway. A marked crossing placed in a high-speed environment without speed management can provide a legal crossing point without adequately managing kinetic energy.

Field evidence demonstrates why vertical or geometric speed control can be important. Meocci et al. (2024) conducted an on-road naturalistic driving experiment in Florence with 36 participants encountering different pedestrian-crossing configurations. The study found a significant reduction in approach speed where a raised trapezoidal crossing treatment was present, together with stronger deceleration than at conventional zebra crossings. The authors also reported that perceptual treatments influenced behaviour only when drivers adequately perceived the configuration. The study is valuable because it measured real driving response, but it should not be generalized as a universal crash-reduction estimate: it involved one corridor, a limited sample, and speed-related rather than injury outcomes.

Raised crossings are most effective conceptually when they are integrated with the desired street function. They can make the pedestrian path continuous, reduce the vertical dominance of the carriageway, and require motor vehicles to negotiate a geometric feature at the conflict point. Curb extensions can shorten crossing distance and improve sight lines where parking would otherwise obscure pedestrians. Median refuge islands can divide a multi-stage crossing into simpler decisions and reduce the time a slower pedestrian is exposed to all traffic lanes simultaneously. Tightened corner radii and protected intersection geometry can reduce turning speed. None of these treatments should be selected in isolation from drainage, accessibility, bus operations, emergency response, heavy-vehicle tracking, and maintenance.

Observational urban-form evidence supports the importance of context. Foreman et al. (2024) compared pedestrian-motorist collision patterns in Atlanta and Boston and found that the two cities exhibited different relationships among arterial streets, speed limits, crosswalks, land-use diversity, and street configuration. The study associated more motorist-oriented, higher-speed, multi-lane conditions with less favourable pedestrian safety patterns. Because the analysis was observational and city-specific, it cannot prove that any single street feature caused the reported differences. It does, however, support a design principle: crossings work within a surrounding street system, and the safety performance of that system depends on more than the crosswalk marking itself.

Protected cycling infrastructure and intersection continuity

Cyclist protection requires continuity. A separated facility can substantially reduce exposure to overtaking traffic along a block yet create new conflict points at driveways, parking access, bus stops, or intersections if the transition is poorly designed. The engineering task is therefore to preserve separation where feasible, control the speed and angle of unavoidable crossings, maintain visibility, and prevent parked vehicles or street furniture from obstructing sight triangles.

Monzer and Hussein (2024) evaluated conversion from conventional bicycle lanes to parking-protected bicycle lanes using a Full-Bayesian before-and-after design on 19 street sections from corridors in Vancouver and Ottawa. They reported observed reductions of 31.2% in total collisions, 16.5% in rear-end collisions, and 4.4% in bicycle collisions after implementation, but the performance varied materially by corridor characteristics. The study specifically highlighted sensitivity to bicycle-path opening density, intersection density, and intersection treatments. These findings are an important caution against treating the label 'protected lane' as a sufficient performance specification. Separation between intersections is only one component; access management and junction design determine where conflicts are transferred. From a health perspective, cycling infrastructure also influences whether people choose to cycle. WHO's 2025 walking and cycling toolkit frames safe active mobility as a combined health, transport, environmental, and equity objective. A road-safety strategy that protects only existing cyclists while leaving potential users unwilling to cycle misses part of the public-health opportunity. At the same time, increases in cycling participation can complicate simple crash-count comparisons. Evaluation should therefore include exposure indicators such as cyclist counts or distance travelled, not merely the number of reported collisions.

Table 2. Selected recent evidence used in the review and the boundary placed on its interpretation.

Source and design	Setting / sample	Reported finding used here	Interpretation boundary
Meocci et al. (2024), naturalistic field driving	Florence; 36 drivers; multiple crossing configurations	Raised trapezoidal crossing produced a significant approach-speed reduction and stronger deceleration than conventional zebra crossings.	Speed-response evidence from one corridor and limited participant sample; not a universal crash-reduction estimate.
Foreman et al. (2024), observational geospatial analysis	Atlanta and Boston	Street configuration, arterial conditions, speed limits, crosswalks, and land-use context were associated with different pedestrian-collision patterns.	Associational city comparison; exposure and other urban differences limit causal interpretation.

Source and design	Setting / sample	Reported finding used here	Interpretation boundary
Monzer & Hussein (2024), Full-Bayesian before-and-after	19 street sections in Vancouver and Ottawa	Observed reductions after parking-protected bicycle lanes were 31.2% total, 16.5% rear-end, and 4.4% bicycle collisions, with strong corridor dependence.	Performance varied with access and intersection characteristics; effects should not be transferred unchanged to other corridors.
Howard et al. (2025), prospective quasi-experiment	50 cameras at 250 Toronto school-zone sites	Speeding proportion fell 45%; 85th-percentile speed fell 10.68 km/h during automated speed enforcement.	Direct evidence of speed reduction, not a measured percentage reduction in injuries.
Benton et al. (2026), natural experiment	4 intervention and 2 control streets in Amsterdam	Selected increases in children cycling and social behaviours; no significant changes in walking, cargo-bike use, helmet use, or supervision.	Small street sample and behavioural outcomes; does not establish crash or injury reduction.
Özen & Karabulut (2025), epidemiologic crash analysis	Pedestrian crashes in Türkiye	Speed limit was identified as an important determinant of pedestrian fatality risk.	Crash-record study; residual confounding and national context must be considered before transfer.

School zones, children, older pedestrians, and accessibility

Human vulnerability varies substantially with age and ability. Children may have limited ability to judge speed and gaps, can be less visible behind parked vehicles, and frequently travel near schools during concentrated periods. Older pedestrians may walk more slowly, require longer decision time, and experience more severe consequences from a similar impact. People with mobility, visual, or hearing impairments may depend on curb ramps, detectable warnings, accessible pedestrian signals, adequate crossing time, smooth surfaces, and predictable alignment. Health-protective road design should therefore be based on a broad user population rather than a fit adult walking at an assumed average speed.

The Toronto school-zone study by Howard et al. (2025) provides a recent example of speed-control redundancy. In a prospective quasi-experimental study involving 50 automated speed-enforcement cameras rotated across 250 school-zone intervention sites, the proportion of vehicles speeding decreased by 45% during enforcement and the 85th-percentile speed decreased by 10.68 km/h. These are substantial changes in an intermediate safety outcome, but the study did not directly establish a corresponding percentage reduction in child injuries. Automated enforcement should therefore be described accurately as a tool that reduced speeding in the studied settings. From an engineering perspective, it is best considered complementary to self-enforcing geometry, safer crossings, school access design, and speed-limit credibility.

School-zone design should also avoid abrupt, purely time-based changes that leave the physical street unchanged. Where a road remains visually and geometrically designed for high speed, compliance may depend heavily on enforcement. Gateway treatments, raised tables, lane reallocation, median islands, curb extensions, conspicuous crossings, parking management, and protected walking routes can make the desired speed legible. At locations used by older

pedestrians or people with disabilities, designers should additionally examine refuge width, kerb geometry, tactile information, surface condition, signal timing, seating or rest opportunities on long routes, and nighttime visibility.

Visibility, lighting, and detection without glare

A driver cannot respond to a pedestrian or cyclist who is detected too late. Sight distance is therefore a health-protective property of the road environment. Common obstructions include parked vehicles near crossings, vegetation, utility cabinets, advertising, bus shelters, horizontal curvature, bridge elements, and queues in adjacent lanes. The goal is not unlimited visibility in every direction, which may unintentionally support higher speed, but adequate detection of relevant conflicts within a speed environment that permits a safe response.

Lighting is similarly a system variable rather than a binary presence-or-absence feature. Appropriate pedestrian lighting should support detection at the conflict area and along the approach, while controlling glare, abrupt adaptation, dark gaps, and maintenance failure. Additional illumination does not automatically compensate for excessive speed or poor geometry. A crossing hidden behind parked vehicles remains problematic even if the pavement marking is brightly lit. For this reason, lighting should be combined with sight-line protection, parking setbacks, vertical alignment, and speed management.

The same principle applies to markings, signs, flashing devices, and intelligent warnings. They can increase awareness, but their effectiveness depends on attention, comprehension, maintenance, ambient visual complexity, and driver compliance. In the FHWA hierarchy these measures sit below conflict removal and speed reduction because they remain more dependent on successful human response. They are valuable as redundancy, especially where a conflict cannot be physically removed, but should not be used to justify retaining a high-energy geometry that could reasonably be redesigned.

Table 3. Design elements, intended safety mechanisms, engineering checks, and common implementation failures.

Design element	Primary safety mechanism	Key design checks	Common failure mode
Raised crossing / speed table	Reduces approach speed at the conflict point	Vertical profile, drainage, accessibility, heavy vehicles, emergency routes, markings	Installed without adequate visibility or with geometry that produces unsafe bypass manoeuvres.
Median refuge island	Reduces simultaneous traffic streams and crossing exposure	Usable refuge width, alignment, visibility, wheelchair/cycle accommodation	Island too narrow or offset poorly, forcing users to wait partly in traffic.
Curb extension	Shortens crossing and improves sight lines	Drainage, parking setback, turning path, bus/large-vehicle operation	Large turning radius remains, so vehicle speed at the crossing stays high.
Protected bicycle facility	Separates cyclists from through motor traffic	Buffer, opening density, intersections, driveways, bus stops, maintenance	Separation disappears at the highest-risk conflict points.
Lighting and conspicuity	Improves detection and information	Vertical illumination, uniformity, glare, outages, visual clutter	More light is added without correcting occlusion, excessive speed, or poor crossing geometry.

Design element	Primary safety mechanism	Key design checks	Common failure mode
Automated or manual speed enforcement	Raises compliance with a safe limit	Limit credibility, siting, signage, governance, monitoring	Used as the main control on a road whose geometry strongly encourages higher speeds.

Network prioritization and proactive safety analysis

A purely reactive programme waits for a location to accumulate reported crashes before acting. This is ethically and statistically weak where pedestrian and cyclist volumes are low, crash reporting is incomplete, or a severe event is rare but foreseeable. Safe System practice instead supports proactive identification of road features associated with high-energy conflicts: high operating speeds near pedestrian generators, long multi-lane crossings, uncontrolled turning movements, missing sidewalks, discontinuous bicycle facilities, poor sight distance, bus stops that require unsafe crossings, and school routes with inadequate protection.

The data needed for proactive analysis are not necessarily expensive. Spot or continuous speed measurements can identify where the operating-speed distribution exceeds the target. Pedestrian and cyclist counts indicate exposure and the times when protection is most needed. Video or structured observation can identify yielding, gap acceptance, red-light violations, turning conflicts, and near-miss patterns, provided privacy and data-governance requirements are respected. Night audits can identify lighting outages and visibility obstructions. Inventory data can locate missing curb ramps, discontinuous sidewalks, absent refuge, excessive corner radii, and crossing distances. Crash and hospital data remain important, but they become one layer rather than the only trigger for action.

Prioritization should also distinguish frequency from severity potential. A location with many low-speed property-damage crashes is not necessarily a higher health priority than an arterial where pedestrians regularly cross multiple lanes at high speed but only a few crashes have been recorded. The latter may have lower event frequency but much greater potential for fatal or life-changing injury. A health-protective programme therefore weights kinetic-energy exposure, vulnerable-user presence, and absence of redundancy alongside historical crash counts.

Monitoring, evaluation, and interpretation of change

Road-safety projects require post-implementation verification because design intent does not guarantee operating performance. A corridor posted at 30 km/h may still carry much higher traffic speeds. A protected bicycle lane may operate well midblock but create turning conflicts at intersections. A pedestrian refuge may be too narrow for wheelchairs, bicycles, or groups of schoolchildren. New landscaping may gradually reduce sight distance. Drainage failure can force pedestrians around standing water into the carriageway. Monitoring should therefore test the mechanisms by which the treatment was expected to work.

A strong evaluation starts before construction. Baseline speed distributions, pedestrian and cyclist volumes, crossing behaviour, crash history, conflict observations, lighting condition, and user accessibility should be recorded where feasible. After implementation, the same indicators should be measured over comparable time periods. Where a treatment is being evaluated scientifically, comparison sites or corridors can help separate intervention effects from broader trends. Changes in traffic volume and route choice should be recorded because safety benefits at one site should not be claimed if risk was simply transferred to another location.

Interpretation should remain outcome-specific. Howard et al. (2025) measured speed, so the conclusion is about speed. Benton et al. (2026) examined a city-wide 30 km/h policy in Amsterdam through systematic observations on four intervention and two control streets. They found significant increases in some behaviours, including children cycling and adults observed in groups or conversing, while no significant change was detected for walking, cargo-bike use, helmet use, or supervision. These results suggest possible wider social and active-travel effects, but they do not establish a crash reduction. Maintaining these distinctions prevents a plausible safety narrative from becoming an unsupported causal claim.

Table 4. Monitoring indicators for mechanism-based road-safety evaluation.

Indicator	Measurement approach	What it can show	Recommended interpretation
Operating speed distribution	Spot radar, pneumatic tube, lidar, or continuous sensors	Whether actual speeds align with the target speed	Use percentiles and distribution, not only the mean; compare before and after treatment.
Pedestrian/cyclist exposure	Manual counts, video counts, travel surveys	Number and timing of vulnerable users at risk	Interpret crash counts together with exposure; note route shifts after intervention.
Crossing performance	Yielding rate, delay, gap acceptance, conflict observation	Whether users can cross predictably and vehicles respond appropriately	Combine with speed and visibility; a high yielding rate does not make high impact speed acceptable.
Nighttime visibility	Structured field audit, lighting measurements, obstruction inventory	Detection conditions and maintenance failures	Assess glare, dark gaps, sight-line blockage, and lighting at conflict points.
Crashes and injury severity	Police, hospital, trauma, insurance or integrated records	Observed safety outcomes over time	Allow for under-reporting, exposure change, regression to mean, and small-number variability.
Accessibility performance	Walk-through audit with curb ramps, tactile cues, refuge and signal timing	Whether the design serves diverse ages and abilities	Treat accessibility as a safety requirement, not a separate cosmetic compliance check.

Application in rapidly urbanizing and data-limited settings

The framework is applicable to rapidly urbanizing cities where high-speed arterial functions coexist with pedestrian access, informal crossings, transit stops, schools, roadside commerce, and emerging cycling demand. In such settings, limited crash databases should not become a reason to postpone basic risk reduction. Engineers can begin by mapping vulnerable-user generators, measuring operating speeds, auditing crossing distance and sight lines, identifying missing pedestrian continuity, and locating points where cyclists are forced into high-speed traffic. These observations can support an initial hierarchy of interventions even while better injury and exposure data are being developed.

Transfer of numerical effect sizes between countries should be avoided. Vehicle fleets, enforcement, road-user behaviour, emergency response, climate, lighting, pavement condition, travel patterns, and reporting systems differ. The correct use of international evidence is

therefore to identify mechanisms and intervention classes, then calibrate them locally. For Botswana and comparable southern African contexts, this means that a raised crossing, lower target speed, protected cycle facility, or refuge island should be justified through local road function, operating speed, drainage, pedestrian demand, heavy-vehicle use, maintenance capacity, and accessibility rather than by importing a crash-reduction percentage from Europe or North America.

Resource constraints strengthen the case for hierarchy. Expensive technology is not always the first priority. Removing a severe conflict, reducing crossing width, providing a continuous sidewalk, protecting a school route, tightening a high-speed turn, or creating a median refuge may deliver a more fundamental change in exposure than a warning device added to an unchanged road. Technology becomes most useful when it supports a safe physical system through monitoring, adaptive control, or enforcement rather than compensating for avoidable geometric risk.

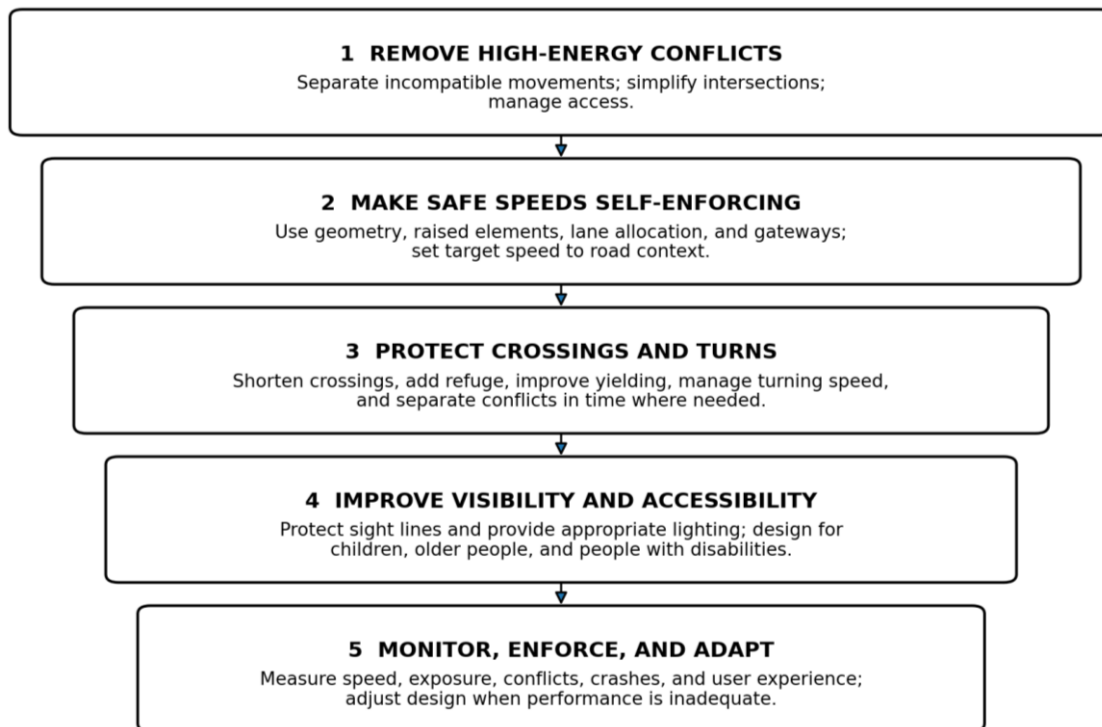


Figure 3. Health-protective road-infrastructure decision hierarchy. Authors' original synthesis; priority moves from eliminating severe conflicts toward increasingly behaviour-dependent safeguards.

CONCLUSION

Road traffic injury prevention is a legitimate civil-engineering health objective because road design determines where users meet, how fast they meet, what they can see, and how much kinetic energy can be transferred when a mistake occurs. The Safe System approach provides a coherent way to organize these responsibilities. The strongest engineering actions remove severe conflicts and reduce operating speeds before relying on time separation, warnings, enforcement, or user perfection. Pedestrian crossings, cycling facilities, school zones, lighting, and accessibility should therefore be designed as interacting parts of a speed and conflict-management system rather than as isolated devices.

Recent evidence supports this direction while also demonstrating why careful interpretation is necessary. Raised pedestrian-crossing geometry has been shown to alter approach speed in field driving tests; parking-protected bicycle lanes have produced corridor-dependent safety changes; automated speed enforcement has reduced speeding substantially in Toronto school zones; and a 2026 Amsterdam natural experiment identified selected active-travel and social-behaviour changes after a city-wide 30 km/h intervention. None of these studies justifies a universal crash-reduction percentage for another city. Their value lies in identifying mechanisms, measurable intermediate outcomes, and context variables that engineers should verify locally.

For practice, health-protective roadway design should begin with road function and vulnerable-user exposure, define a target speed consistent with human tolerance, remove or simplify high-energy conflicts, provide continuous and accessible walking and cycling space, manage crossings and turns, protect visibility, and then add monitoring, enforcement, and intelligent systems as redundancy. Evaluation should measure the mechanism that the treatment is intended to change and distinguish speed, conflicts, crashes, exposure, and health outcomes. In data-limited settings, proactive infrastructure audits and operating-speed measurements can support action before a fatality history accumulates. The central principle is simple: a road should not require perfect human behaviour to prevent death or serious injury.

REFERENCES

- Benton, J. S., van Erpecum, C.-P. L., Mölenberg, F. J. M., Bornioli, A., Kox, R., de Ruiter, T., Lissenberg-Witte, B. I., & den Braver, N. R. (2026). Impacts of a city-wide 30 km/h speed limit intervention on physical activity, child safety and social behaviours: A natural experimental study in Amsterdam, The Netherlands. *Cities & Health*. <https://doi.org/10.1080/23748834.2026.2666486>
- Campolettano, E. T., Scanlon, J. M., Kadar, I., Lavy, L. L., Moura, D., & Kusano, K. D. (2024). Baseline vulnerable road user injury risk in multiple U.S. dense-urban driving environments. *Traffic Injury Prevention*, 25(sup1), S94–S104. <https://doi.org/10.1080/15389588.2024.2364050>
- Federal Highway Administration. (2023). Safe System approach for speed management. U.S. Department of Transportation. https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/Safe_System_Approach_for_Speed_Management.pdf
- Federal Highway Administration. (2024). Safe System roadway design hierarchy: Engineering and infrastructure-related countermeasures to effectively reduce roadway fatalities and serious injuries (FHWA-SA-22-069). U.S. Department of Transportation. <https://highways.dot.gov/safety/zero-deaths/safe-system-roadway-design-hierarchy>
- Foreman, T. J., Lin, M., Tu, W., & Yarbrough, R. W. (2024). Impact of urban form and street infrastructure on pedestrian-motorist collisions. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 31(3), 521–533. <https://doi.org/10.1080/17457300.2024.2351961>
- Global Road Safety Partnership. (2023). *Speed management: A road safety manual for decision-makers and practitioners* (2nd ed.). International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/3146-wbk-speed-mgmt-2nd-edition-131023-electronic.pdf>
- Howard, A. W., Batomen, B., Zubair, S., Cloutier, M.-S., Macpherson, A. K., & Rothman, L. (2025). Automated speed enforcement reduced vehicle speeds in school zones in Toronto: A prospective quasi-experimental study. *Injury Prevention*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1136/ip-2024-045561>
- Kopsacheilis, A., & Politis, I. (2024). Exploring factors influencing pedestrian accident severity: A multi-source study in the city of Berlin. *European Transport Research Review*, 16, 63. <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00686-6>
- Meocci, M., Terrosi, A., Paliotto, A., Arrighi, R., & Petrizzo, I. (2024). Drivers' performance assessment approaching pedestrian crossings through the analysis of the speed and perceptive data recorded during on-field tests. *Heliyon*, 10(1), e24249. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24249>
- Monzer, Y. I., & Hussein, M. (2024). Conventional or parking-protected bike lanes? A Full-Bayesian before-and-after assessment. *Traffic Injury Prevention*, 25(3), 482–491. <https://doi.org/10.1080/15389588.2023.2298682>

- Özen, M., & Karabulut, N. C. (2025). Epidemiologic analysis of pedestrian crashes in Türkiye. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 31(12), 688–697. <https://doi.org/10.26719/2025.31.12.688>
- World Health Organization. (2023a). *Global status report on road safety 2023*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517>
- World Health Organization. (2023b). *Pedestrian safety: A road safety manual for decision-makers and practitioners* (2nd ed.). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240072497>
- World Health Organization. (2025). *Promoting walking and cycling: A toolkit of policy options*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240109902>
- Yannis, G., & Michelaraki, E. (2025). Effectiveness of 30 km/h speed limit – A literature review. *Journal of Safety Research*, 92, 490–503. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.11.003>

HEALTH-PROTECTIVE URBAN DRAINAGE ENGINEERING FOR FLOOD-CONTAMINATION RISK: STORMWATER, SEWER OVERFLOWS, BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE, AND PUBLIC HEALTH

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia (UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Urban flooding is usually framed as a hydraulic-capacity problem, yet the health consequences depend equally on what the floodwater contains, where it travels, who contacts it, and whether essential infrastructure continues to function. This critical integrative review develops a health-protective civil-engineering framework for urban drainage in which flood quantity and contamination are treated as coupled design objectives. Current evidence shows that floods are associated with immediate injury and drowning as well as delayed infectious, cardiovascular, respiratory, mental-health, and health-service impacts. In urban areas, stormwater can mobilize sediment, metals, hydrocarbons, pathogens, and other pollutants, while sewer surcharge, combined sewer overflows, sanitary sewer overflows, cross-connections, and drainage backflow can introduce wastewater into streets, buildings, and receiving waters. The paper therefore organizes engineering controls according to a source-pathway-receptor logic: reduce runoff and pollutant generation at source; provide safe conveyance and exceedance routes; prevent sewer and outfall backflow; limit wastewater release; use blue-green infrastructure to retain and treat frequent runoff; and integrate sensors, forecasting, and real-time control where operational capacity permits. The Rational Method and an event-load relation are included only as transparent screening equations, with an illustrative sensitivity graph that is explicitly not field data. Recent studies on multi-country flood hospitalization, wastewater-flooding health risk, drainage failure, and pollution-based real-time control are interpreted within their original settings rather than transferred as universal performance values. The main finding is that health-protective drainage requires joint management of depth, velocity, duration, contamination, exposure, and recovery. For civil engineers, the practical implication is to design urban drainage as public-health infrastructure rather than as a pipe network alone.

Keywords: urban flooding; stormwater; sewer overflow; public health; blue-green infrastructure; drainage engineering; contamination; flood resilience.

INTRODUCTION

Urban drainage systems protect cities from more than nuisance water. Streets, culverts, storm sewers, channels, detention facilities, pump stations, outfalls, sanitary sewers, and blue-green infrastructure collectively determine whether intense rainfall remains a manageable hydrologic event or becomes an exposure pathway for injury, contaminated water, damaged buildings, disrupted transport, and failed essential services. This makes urban flood management a public-health function of civil engineering. The World Health Organization (WHO) identifies

drowning, trauma, electrocution, water- and vector-borne disease, chemical hazards, mental-health effects, disruption of health services, and damage to water, food, and shelter systems among the major health consequences of floods (WHO, n.d.-a). Those outcomes arise through different mechanisms and therefore cannot be managed by one hydraulic design criterion alone.

A conventional drainage calculation may ask whether a pipe conveys a selected design discharge without surcharge. A health-protective assessment must ask additional questions. Where will exceedance flow travel when the design event is exceeded? Can contaminated sewer water reach pedestrian areas, houses, schools, clinics, or drinking-water infrastructure? Will backflow occur when the receiving water level is high? Are low points accessible to children or road users? Will stagnant water persist long enough to create secondary hazards? Can emergency vehicles reach critical facilities? These questions convert drainage from a single-objective capacity problem into a coupled quantity-quality-exposure problem.

Recent epidemiological studies reinforce the need for this broader perspective. Yang et al. (2023) reported mortality risks associated with flood exposure across 761 communities worldwide, and a later multi-country study by Yang et al. (2025) examined hospitalization risks in 747 communities across eight countries and regions. Lynch et al. (2025), using United States mortality records, similarly showed that health effects can extend beyond the day of inundation. Such studies do not imply that every flood produces the same effect or that health coefficients can be transferred directly between cities. They do show that engineering decisions that alter flood frequency, depth, exposure, access, and recovery can have health relevance extending beyond immediate property damage.

Contamination changes the character of urban floodwater. Rainfall washing over roads and developed surfaces can mobilize suspended solids, nutrients, hydrocarbons, metals, faecal indicators, pathogens, litter, and other pollutants. Where sanitary and stormwater infrastructure interact, surcharge or overflow can add wastewater. The United States Environmental Protection Agency (EPA) notes that urban stormwater can carry pathogens, nutrients, sediment, and heavy metals, while green infrastructure can capture runoff and reduce the volume entering sewer systems (EPA, 2025a). Aziz et al. (2025) specifically examined health risks associated with wastewater flooding and emphasized the importance of biological and chemical contaminants and vulnerable populations. Thus, a flood map without a contamination map can miss a critical component of public-health risk.

This paper presents a critical integrative review aimed at civil engineers, environmental engineers, urban planners, infrastructure managers, and public-health practitioners. It does not contain new field measurements, disease surveillance data, hydraulic calibration, or Botswana-specific flood observations. Instead, it synthesizes current engineering and health evidence into a design framework that identifies controllable mechanisms, appropriate equations, monitoring priorities, and limitations. The central proposition is that an urban drainage system should be judged not only by whether it reduces inundation, but also by whether it limits contaminated exposure and preserves safe movement and essential services during and after exceedance events.

RESEARCH AND FINDINGS

Review approach and evidence boundaries

The review combines authoritative health and stormwater guidance with recent peer-reviewed studies that provide complementary evidence on flood-health outcomes, wastewater exposure, drainage failure, and drainage-system control. Health evidence was used to identify credible

outcome categories and vulnerable conditions, not to generate local risk coefficients. Engineering studies were used to identify mechanisms and control options, while simulation results were treated as case-specific evidence. This distinction is essential because drainage performance depends on catchment imperviousness, rainfall pattern, sewer configuration, receiving-water level, maintenance, land use, pollutant sources, and operational capability. The paper deliberately avoids three common overstatements. First, the presence of a flood does not prove that a subsequent illness was caused by floodwater. Second, pathogen or pollutant concentrations reported in one city cannot be assumed for another drainage system. Third, a percentage reduction obtained in a numerical optimization study is not a universal efficiency value for real infrastructure. Accordingly, all numerical findings from recent studies are described with their study design and context, while the proposed framework is qualitative and mechanistic.

Flood health risk is a source-pathway-receptor problem

A useful engineering representation begins with sources, pathways, receptors, and controls. Sources include intense rainfall, runoff from contaminated surfaces, sanitary sewage, industrial or commercial spills, contaminated sediments, and receiving waters that can reverse-flow through outfalls. Pathways include gutters, road depressions, storm drains, combined or sanitary sewer overflows, manholes, culverts, channels, basements, and groundwater emergence. Receptors include pedestrians, road users, residents, maintenance workers, emergency responders, children, older people, and occupants of health or care facilities. Controls are effective only when they interrupt the relevant pathway.

This framework also explains why flood depth alone is insufficient. Two locations with the same depth may have very different health implications if one contains relatively clean stormwater in a controlled detention area while the other contains wastewater-backed floodwater moving through a crowded street. Velocity, duration, accessibility, electrical hazards, contamination, temperature, debris, and the ability to close or bypass the area all modify risk. WHO guidance similarly treats flood health impacts as multi-dimensional, including drowning and injury as well as disease, chemical hazards, mental health, and service disruption (WHO, n.d.-a).

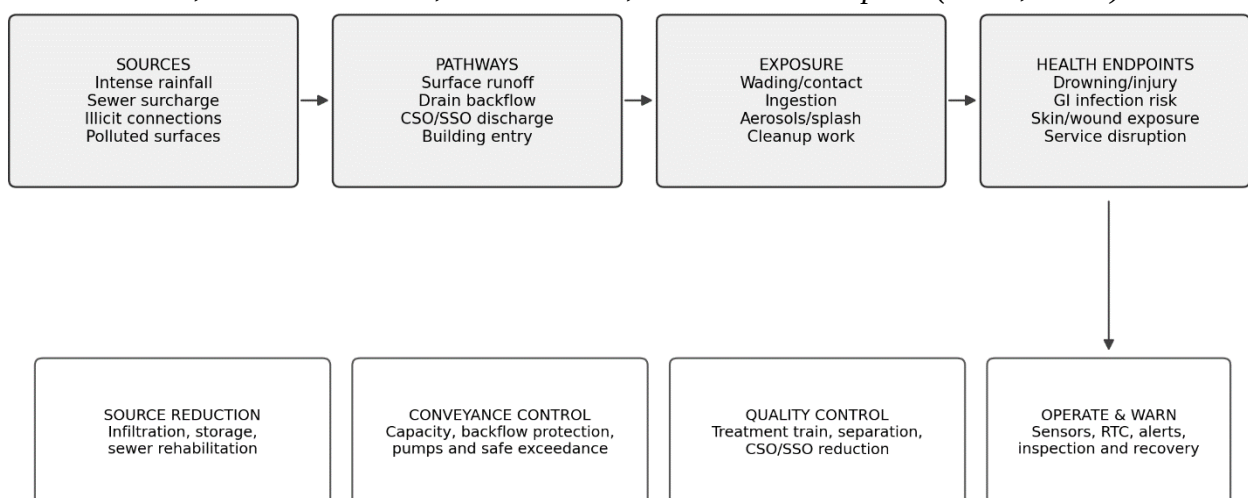


Figure 1. Source-pathway-receptor framework for flood-contamination risk and health-protective drainage control. Original synthesis by the authors.

Table 1. Major urban flood-contamination pathways and engineering controls.

Flood / contamination mechanism	Engineering pathway	Health-relevant consequence	Primary controls
Pluvial runoff	Roads, roofs and paved areas generate rapid runoff and ponding	Drowning/injury, contaminated contact, transport disruption	Runoff reduction, inlet capacity, safe overland routes, detention
Combined sewer overflow	Stormwater and sewage share a network and exceed wet-weather capacity	Wastewater exposure and receiving-water contamination	Storage, sewer optimization, separation where justified, green/gray CSO control
Sanitary sewer overflow	Inflow/infiltration, blockage, pump failure or surcharge	Direct sewage contact, building contamination	Rehabilitation, I/I control, redundancy, emergency bypass/treatment
Outfall backflow	High tailwater reverses or limits gravity drainage	Contaminated receiving water enters streets/drains	Backflow prevention, pumps, storage, outfall redesign
Surface pollutant wash-off	Traffic, soil, waste and urban surfaces contribute pollutants	Chemical, microbial and sediment exposure	Source control, sweeping, pretreatment, treatment train

Runoff generation and exceedance must be designed together

Urbanization increases connected impervious area and shortens hydrologic response, increasing the proportion of rainfall that becomes rapid surface runoff. A basic peak-flow screening relation remains the Rational Method, which is appropriate only within the assumptions and scale limits adopted by the relevant design authority. In SI form for rainfall intensity in millimetres per hour and catchment area in hectares, a commonly used expression is: $Q_p = 0.00278 C_i A$ (1)

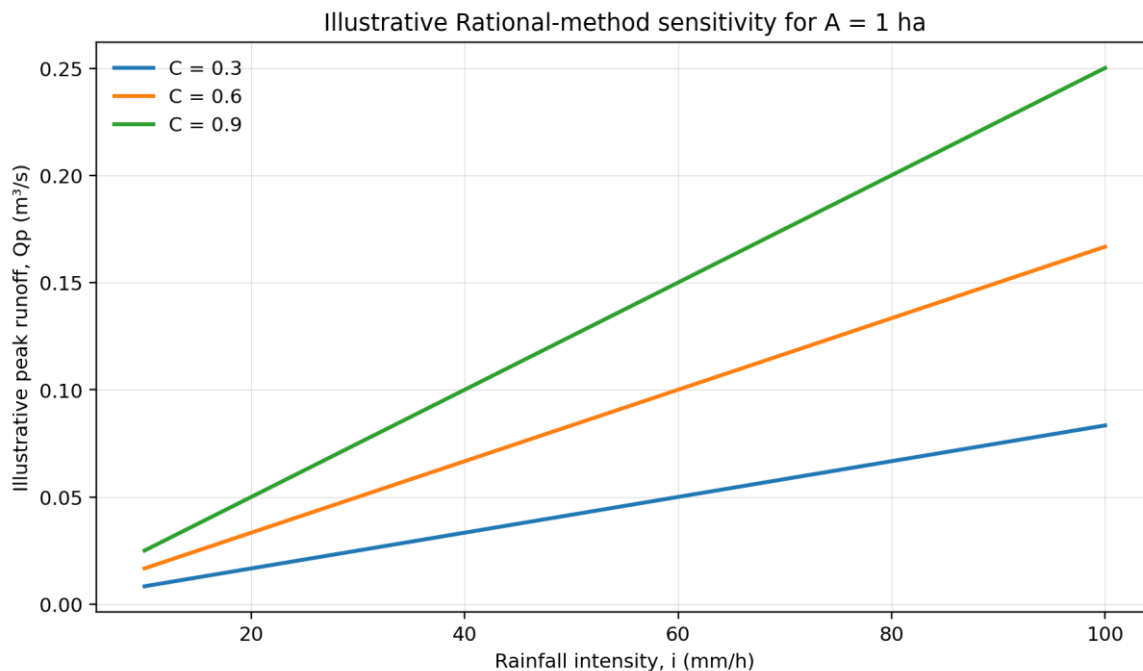


Figure 2. Illustrative Rational-method sensitivity for a 1 ha catchment. Values are calculated examples only and are not field measurements.

The coefficient C is a runoff coefficient, i is design rainfall intensity, A is catchment area, and the numerical factor converts the selected SI units to cubic metres per second. The equation is intentionally simple and does not represent storage, spatial rainfall variation, infiltration dynamics, sewer backwater, or hydrograph shape. It therefore cannot replace dynamic modeling where those processes control flood risk. Its health value is as a transparent reminder that increasing imperviousness or rainfall intensity increases the peak flow that must be managed safely.

The same design must define what happens beyond nominal capacity. Major storms will exceed some local elements, and blockage or downstream tailwater can create exceedance under rainfall smaller than the nominal design event. Health-protective design therefore identifies deliberate overland flow routes, avoids directing deep or fast water through pedestrian gathering spaces, protects critical access, and prevents basement or building entry where feasible. Roads may form part of the exceedance system, but only if traffic operation, kerb geometry, inlet capacity, low-point storage, and closure protocols are considered together.

Stormwater quantity and pollutant load are coupled but not identical

The volume of runoff influences pollutant transport, but pollutant concentration is neither constant nor determined by flow alone. Antecedent dry period, land use, traffic, erosion, sanitation conditions, sewer leakage, illicit connections, and rainfall intensity can all alter event quality. A simple event-load screening relation can be written as:

$$M_{\text{event}} = C_{\text{EMC}} V / 1000 \quad (2)$$

where the event mass is expressed in kilograms, the event mean concentration is expressed in milligrams per litre, and V is runoff volume in cubic metres. This relation is an accounting identity, not a prediction of concentration. The event mean concentration must come from defensible monitoring or a context-appropriate evidence base. Using a generic concentration without local justification can produce an apparently precise but academically weak risk estimate.

The engineering implication is that measures that reduce peak flow are not automatically the same as measures that reduce exposure to contamination. A detention basin may reduce downstream peak flow but can still require safe access control and water-quality management. A storm sewer may convey runoff efficiently while rapidly exporting pollutants to a receiving water. Conversely, a bioretention or infiltration system may reduce frequent-event runoff and pollutant load but be inappropriate where contaminated soil, shallow groundwater, geotechnical instability, or source-water protection constraints make infiltration unsafe. Quantity and quality objectives must therefore be evaluated together.

Sewer overflows and backflow create high-consequence contamination pathways

Combined sewer systems intentionally convey sewage and stormwater in the same network, so wet-weather capacity exceedance can generate combined sewer overflows. Separate systems can still produce sanitary sewer overflows through inflow and infiltration, blockage, pump failure, undersized sections, or downstream surcharge. Cross-connections and damaged infrastructure can further mix sanitary and stormwater pathways. EPA guidance explicitly recognizes green and gray infrastructure as complementary tools for combined-sewer-overflow control (EPA, 2026). In health-protective design, the relevant objective is not simply fewer overflow events but reduced opportunity for untreated or partially treated wastewater to contact people or contaminate sensitive receiving waters.

Backflow deserves particular attention because drainage direction can reverse when downstream water levels exceed the hydraulic grade available at the outfall. Obara et al. (2025) demonstrated how combined precipitation and sea-level conditions can impair storm drainage in a coastal urban setting. Yamamoto et al. (2026) subsequently modeled compound flooding in Waikiki and emphasized contamination pathways associated with drainage dysfunction and polluted water sources. These are place-specific coastal studies, but the mechanism is general: tailwater, river stage, reservoir level, pump outage, or local surcharge can convert a drainage conduit into a route bringing water toward, rather than away from, occupied areas. Flap gates, check structures, pumped systems, storage, outfall elevation, and emergency operating procedures must be evaluated against failure modes and maintenance requirements.

Health evidence supports prevention without permitting causal overclaiming

Flood-health epidemiology provides a strong reason for preventive infrastructure while also requiring careful interpretation. The global time-series analysis by Yang et al. (2023) examined mortality risk across hundreds of communities, and the 2025 Nature Water study extended multi-country analysis to hospitalizations (Yang et al., 2025). Lynch et al. (2025) used 35.6 million death records in the United States and found associations between large floods and multiple causes of mortality over subsequent months. These studies establish population-level associations but do not identify a single exposure pathway for every outcome.

Waterborne disease is one pathway among several. Lan et al. (2022) reported flood-related diarrhoeal morbidity patterns in Sichuan Province, while WHO continues to identify contaminated water and disrupted sanitation as important concerns after floods (WHO, n.d.-b). Wastewater flooding adds specific concerns because direct contact, accidental ingestion, wound contamination, aerosol or splash exposure, and contaminated indoor environments may occur. Aziz et al. (2025) therefore framed wastewater flooding as a health-risk-management problem involving biological and chemical hazards and vulnerable groups. Civil engineering can reduce these exposures by preventing cross-system contamination, limiting sewer surcharge, directing exceedance away from occupied areas, and shortening persistence through drainage and recovery.

Table 2. Selected recent evidence linking flooding, wastewater exposure, health outcomes, and drainage control.

Evidence source	Study design / setting	Finding used in this review	Interpretive boundary
Yang et al. (2023)	Time-series study, 761 communities worldwide	Flood exposure was associated with mortality risks	Population association; not a drainage-specific causal coefficient
Yang et al. (2025)	Daily hospitalization data from 747 communities in eight countries/regions	Flood exposure was associated with increased hospitalization risks for several causes	Health effect varies by context, lag and flood characteristics
Lynch et al. (2025)	35.6 million U.S. death records, 2001-2018	Large floods were associated with changes in cause-specific mortality over following months	U.S. observational evidence; pathways not individually assigned
Aziz et al. (2025)	Wastewater-flooding health-risk assessment	Identified biological/chemical hazards and vulnerability considerations	Risk framework, not local pathogen measurements for other cities
Huang et al. (2025)	Hydraulic-water-quality simulation with multi-agent control	Case-specific modeled reductions in flooding/overflow and river pollutants	Simulation result; requires local model, controls and validation

Blue-green infrastructure should be treated as part of a treatment and storage train

Blue-green infrastructure includes bioretention, vegetated swales, rain gardens, permeable pavements, green roofs, detention and retention systems, constructed wetlands, infiltration areas, urban trees, and distributed storage. EPA identifies reduced runoff, improved water quality, and reduced sewer inflow among the potential benefits of green infrastructure (EPA, 2025a). The key design concept is distributed interception: frequent rainfall is retained, slowed, infiltrated where safe, evapotranspired, reused, or treated before it reaches the downstream pipe system.

Health protection requires more than maximizing infiltration. Site geology, groundwater depth, soil contamination, foundation sensitivity, mosquito control, public access, maintenance, vegetation performance, and overflow routing must be considered. In geotechnically sensitive areas, infiltration can alter pore-water pressures or create foundation and slope problems. In contaminated land, infiltration can mobilize pollutants. Where standing water persists, vector management may become relevant. Therefore, blue-green infrastructure should be designed as a treatment and storage train with defined inlets, pretreatment, media or soil properties, underdrainage where needed, safe overflow, inspection access, and clear ownership for maintenance.

The strongest urban strategy is generally hybrid rather than ideological. Gray infrastructure remains necessary for reliable conveyance, structural drainage, outfalls, and high-flow control. Blue-green infrastructure can reduce frequent-event load and create distributed storage and treatment. Smart operation can use available storage more effectively. The combination should be selected through life-cycle performance, land availability, failure consequence, maintenance capacity, and receiving-water objectives rather than assuming that one infrastructure family is universally superior.

Real-time monitoring and control can improve performance but cannot replace physical robustness

Sensors for rainfall, water level, flow, pump status, gate position, turbidity, conductivity, temperature, and selected water-quality surrogates can support event detection and operational decisions. Forecasts and digital models can extend lead time. In systems with controllable storage or gates, real-time control can redistribute water and reduce unnecessary overflow. Huang et al. (2025) developed a multi-agent reinforcement-learning framework for a Chinese urban drainage and wastewater system and reported case-specific reductions in modeled flooding, overflow, and river pollutants relative to benchmark strategies. Those values demonstrate potential within that modeled system; they are not design factors for other cities. A health-protective monitoring architecture should prioritize actionable measurements. A level sensor is valuable if it triggers pump operation, gate control, road closure, inspection, or warning. Water-quality sensing is valuable when it helps distinguish relatively clean runoff from likely sewage contamination or supports post-event reopening decisions. Sensor networks without maintenance, calibration, data governance, alarm logic, and responsible operators can create false confidence. Physical fail-safe capacity and clear exceedance pathways remain necessary when communications, power, sensors, or algorithms fail.

Table 3. Monitoring methods for health-protective urban drainage operation and investigation.

Monitoring method	Primary information	Decision use	Limitation
Rainfall + water level	Event magnitude, surcharge and exceedance onset	Trigger operations and road/facility warnings	Level alone does not identify contamination
Flow / pump / gate status	Hydraulic function and control availability	Detect failures and verify operations	Requires reliable telemetry and maintenance
Turbidity / conductivity	Rapid water-quality surrogate changes	Screen anomalous inflow or mixing	Not pathogen-specific; needs local interpretation
Microbial sampling	Faecal indicators or selected pathogens	Post-event investigation and targeted health assessment	Laboratory delay; sample timing and representativeness matter
CCTV / inspection	Blockage, defects, cross-connections and sediment	Preventive maintenance and source diagnosis	Periodic; may miss event-specific behavior

Maintenance is a hydraulic and public-health intervention

Drainage systems lose effective capacity through sediment, litter, vegetation, damaged grates, blocked culverts, grease, roots, collapsed pipes, and unmaintained storage. These defects also influence water quality by retaining contaminated sediment or causing localized stagnant water. Maintenance is therefore not an administrative afterthought; it changes the probability and location of exposure. Risk-based maintenance should prioritize known low points, critical crossings, hospital and school access, pump stations, flap gates, trash screens, culvert inlets, overflow structures, and locations with repeated surcharge or illegal connections.

Inspection should be event-oriented as well as calendar-based. Before a high-risk season, systems require capacity checks and debris removal. During storms, level and operational data can identify emerging problems. After significant events, engineers should inspect erosion, undermining, damaged covers, electrical equipment, sediment deposition, cross-connections, pump performance, and evidence of sewer surcharge. Reopening flooded facilities or public

spaces should consider both structural safety and contamination, particularly where wastewater contact is plausible.

Critical infrastructure and vulnerable populations change design priorities

Flood risk is not spatially neutral. The same hydraulic depth has different consequences at a vacant open space, a primary school entrance, a hospital access road, a dense informal settlement, or a substation controlling water and wastewater pumps. Health-protective drainage therefore uses consequence-weighted priorities. Critical routes may justify higher reliability, redundant pumping, protected power, raised equipment, or controlled overland flow. Locations serving populations with limited mobility or reduced ability to self-evacuate may require lower tolerances for fast or deep water.

Equity considerations should be incorporated without assuming vulnerability from location alone. Engineering teams can combine flood modeling with land use, critical services, pedestrian movement, demographic information available at an appropriate privacy-preserving scale, and community knowledge. The purpose is to identify where exposure is difficult to avoid and where failure would cascade into water, sanitation, transport, health care, or shelter disruption. Public-health collaboration is particularly valuable for defining warning thresholds, safe cleanup communication, and priorities for reopening.

A health-protective performance framework for urban drainage

The proposed framework evaluates drainage performance through six linked dimensions: hydraulic severity, contamination potential, human exposure, critical-service continuity, operational recoverability, and uncertainty. Hydraulic severity includes depth, velocity, duration, rate of rise, and spatial extent. Contamination potential considers sewer interaction, runoff sources, receiving-water backflow, and evidence from monitoring. Exposure considers whether people can avoid the water and how long public areas remain affected. Service continuity evaluates roads, water, wastewater, electricity, communications, and health facilities. Recoverability considers drainage time, cleanability, access for maintenance, and restoration resources. Uncertainty addresses rainfall, blockage, boundary conditions, model error, sensor reliability, and future change.

This framework does not produce one universal health score. Its purpose is to prevent narrow optimization. For example, a design that slightly increases modeled street ponding in a controlled, inaccessible landscape basin may be preferable to a design that moves the same water rapidly toward a sewer-overflow hotspot. Likewise, a green-infrastructure measure that reduces frequent-event volume can be valuable even if extreme-event conveyance still requires conventional drainage. Decision criteria should therefore be tied to explicit pathways and consequences rather than only to total flood volume.

Proposed health-protective hierarchy for urban drainage and flood-contamination control



Figure 3. Proposed hierarchy for health-protective urban drainage and flood-contamination management. Original synthesis by the authors.

Table 4. Proposed hierarchy for urban drainage interventions.

Priority	Engineering action	Verification objective	Health-protective logic
1. Exposure avoidance	Safe exceedance, barriers, road closure, warning	No uncontrolled public access to dangerous depths/velocities	Prevents contact even when hydraulic control is exceeded
2. Source reduction	Blue-green storage, infiltration where safe, disconnection	Reduced frequent-event runoff and sewer inflow	Reduces load before it reaches constrained networks
3. Reliable conveyance	Pipes, channels, pumps, outfalls, backflow protection	Capacity plus defined failure/exceedance mode	Maintains controlled movement of water
4. Contamination control	Overflow reduction, sewer rehabilitation, treatment train	Reduced sewage/stormwater mixing and pollutant release	Targets health-relevant water quality
5. Smart operation and recovery	Sensors, RTC, inspection, cleaning, communication	Actionable alerts and documented restoration	Manages residual and changing risk

Implications for water-stressed and rapidly growing cities

Water-stressed cities face an additional design tension: stormwater is both a hazard and a potential resource. Capture and reuse can reduce runoff and supplement non-potable demands, but public-health protection depends on source control, treatment, storage, cross-connection prevention, and fit-for-purpose water-quality requirements. Raw urban runoff should not be assumed suitable for unrestricted reuse. Where storage is planned, evaporation, sediment accumulation, mosquito risk, first-flush contamination, and maintenance must be addressed alongside water balance.

Rapid urban growth can outpace formal drainage expansion and alter flow paths through road construction, plot walls, infill, and increased imperviousness. The most resilient approach is to reserve safe drainage corridors early, protect natural conveyance and storage, enforce building levels and setbacks where appropriate, and integrate distributed runoff control into development approvals. In dry climates, rare but intense storms can create a false sense that drainage assets are unimportant between events. Maintenance and preparedness are especially critical where long dry periods permit sediment and litter accumulation before the next storm.

CONCLUSION

Urban drainage is public-health infrastructure because it controls not only where floodwater goes, but also whether contaminated water reaches people, buildings, transport routes, and essential services. The evidence reviewed here supports a shift from single-objective hydraulic design toward coupled management of water quantity, water quality, exposure, and recovery. Flood-associated mortality and hospitalization studies show that health impacts can extend beyond immediate drowning and injury, while wastewater-flooding research highlights the added significance of biological and chemical contamination. These findings justify preventive engineering but do not justify transferring health coefficients or pollutant concentrations from one city to another.

A defensible engineering strategy begins with source-pathway-receptor analysis. Runoff should be reduced and treated at source where site conditions permit; conveyance and safe exceedance should be designed together; sewer overflows and cross-connections should be controlled; outfall backflow and compound boundary conditions should be tested; and critical access should receive consequence-based reliability. Blue-green infrastructure is most effective when integrated with gray drainage and explicit maintenance rather than treated as a stand-alone substitute. Real-time control can improve the use of storage and conveyance, but published percentage improvements are system-specific and physical fail-safe capacity remains necessary.

Two simple equations were included to illustrate transparent screening: the Rational Method for peak runoff and an event-load accounting relation. Neither should be mistaken for field evidence or a substitute for calibrated hydrologic, hydraulic, and water-quality analysis when risk is high. The principal design recommendation is therefore methodological: engineers should evaluate depth, velocity, duration, contamination, exposure, critical-service continuity, recoverability, and uncertainty together. Doing so changes urban drainage from a narrow pipe-sizing exercise into a health-protective resilience system capable of reducing both direct flood hazards and contaminated-water exposure.

REFERENCES

- Aziz, F., Wang, X., Mahmood, M. Q., & O'Keeffe, J. (2025). Assessing human health risks associated with wastewater flooding. *Environmental Impact Assessment Review*, 115, 108031. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108031>
- Huang, Z., Wang, Y., Dong, X., Li, W., Tang, Y., & Zhang, D. (2025). Pollution-based integrated real-time control for urban drainage systems: A multi-agent deep reinforcement learning approach. *npj Clean Water*, 8, 79. <https://doi.org/10.1038/s41545-025-00512-z>
- Lan, T., Hu, Y., Cheng, L., Chen, L., Guan, X., Yang, Y., Guo, Y., & Pan, J. (2022). Floods and diarrheal morbidity: Evidence on the relationship, effect modifiers, and attributable risk from Sichuan Province, China. *Journal of Global Health*, 12, 11007. <https://doi.org/10.7189/jogh.12.11007>

- Lynch, V. D., Sullivan, J. A., Flores, A. B., Xie, X., Aggarwal, S., Nethery, R. C., Kioumourtzoglou, M.-A., Nigra, A. E., & Parks, R. M. (2025). Large floods drive changes in cause-specific mortality in the United States. *Nature Medicine*, 31, 663-671. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03358-z>
- Obara, C., Fletcher, C. H., Habel, S., McDonald, K., & Yamamoto, K. (2025). Drainage failure and associated urban impacts under combined sea-level rise and precipitation scenarios. *Scientific Reports*, 15, 23436. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07332-8>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2025a). Environmental benefits of green infrastructure. U.S. EPA. <https://www.epa.gov/green-infrastructure/environmental-benefits-green-infrastructure>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2026). Combined sewer overflow green/gray infrastructure. U.S. EPA. <https://www.epa.gov/npdes/combined-sewer-overflow-greengray-infrastructure>
- World Health Organization. (n.d.-a). Floods. <https://www.who.int/health-topics/floods>
- World Health Organization. (n.d.-b). Water, sanitation and health in humanitarian emergencies. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/environmental-health-in-emergencies/humanitarian-emergencies>
- World Health Organization. (2024). Cholera. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cholera>
- World Health Organization. (2026). Drowning. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drowning>
- Yamamoto, K., Habel, S., Son, Y., Anderson, T. R., Obara, C., Barbee, M. M., Fornace, K. L., & Fletcher, C. H. (2026). Compound flood simulations indicate rising public exposure to sewage-contaminated waters in Waikiki, Hawaii. *Scientific Reports*, 16, 9740. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-38225-z>
- Yang, Z., Huang, W., McKenzie, J. E., Xu, R., Yu, P., Ye, T., Wen, B., Gasparrini, A., Armstrong, B., Tong, S., Lavigne, E., Madureira, J., Kysely, J., Guo, Y., & Li, S. (2023). Mortality risks associated with floods in 761 communities worldwide: Time series study. *BMJ*, 383, e075081. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-075081>
- Yang, Z., Huang, W., McKenzie, J. E., Xu, R., Yu, P., Wu, Y., Liu, Y., Wen, B., Zhang, Y., Yu, W., Ye, T., Zhang, Y., Ju, K., Hales, S., Coelho, M. D. S. Z. S., Matus, P., Tantrakarnapa, K., Guo, Y. L., Kliengchuay, W., ... Li, S. (2025). Hospitalization risks associated with floods in a multi-country study. *Nature Water*, 3, 561-570. <https://doi.org/10.1038/s44221-025-00425-8>

HEALTH-PROTECTIVE CIVIL ENGINEERING FOR DAMP AND MOULD-PRONE BUILDINGS: MOISTURE PATHWAYS, ENVELOPE DESIGN, VENTILATION, AND INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia (UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Dampness and indoor mould are usually treated as maintenance or indoor-air-quality problems, yet their upstream causes are often failures of civil and building engineering: rainwater penetration, inadequate drainage, capillary rise, plumbing leakage, discontinuous air and thermal control layers, thermal bridges, and moisture-sensitive retrofit decisions. This critical integrative review examines how building moisture is generated, transported, stored, detected, and controlled, and links those mechanisms to current evidence on occupant health. Recent longitudinal studies strengthen the association between residential dampness or mould and respiratory outcomes, while contemporary building-science research shows that risk depends strongly on climate, material properties, junction detailing, ventilation, and uncertainty in hygrothermal inputs. A health-protective design framework is therefore proposed in which moisture control is addressed hierarchically: prevent bulk-water entry; interrupt capillary and air-transport pathways; maintain moisture-safe interior surface temperatures; provide ventilation and local exhaust appropriate to occupancy and climate; and verify performance through inspection, commissioning, and targeted sensing. Two fundamental psychrometric relations are used to illustrate why apparently acceptable room relative humidity can still produce high surface humidity at cold bridges. The review also cautions against using short-term airborne mould sampling as a stand-alone health metric and against treating ventilation as a substitute for correcting water entry. The main finding is that the most reliable public-health intervention is not mould removal alone, but durable elimination of the moisture conditions that permit recurrence. For civil engineers, architects, facility managers, and public-health practitioners, the practical implication is a shift from reactive remediation toward moisture-resilient design, construction quality assurance, and evidence-based building operation.

Keywords: building dampness; mould; building envelope; hygrothermal design; indoor air quality; respiratory health; moisture control; civil engineering

INTRODUCTION

Buildings mediate exposure to weather, water, heat, pollutants, and biological agents. Their structural and enclosure systems are therefore part of the public-health environment, not merely a physical shell. Moisture is one of the clearest examples of this relationship. Water that enters through roofs, façades, foundations, plumbing systems, or poorly detailed junctions can remain stored in porous materials, move by capillary action, be redistributed by air leakage and vapour diffusion, and create surface or interstitial conditions that support microbial

growth. Conversely, indoor moisture produced by occupants, cooking, washing, drying, and some industrial or institutional processes can become harmful when enclosure surfaces are cold, ventilation is insufficient, or mechanical systems maintain pressure and humidity conditions that drive moisture into assemblies.

The health relevance is well established at the level of persistent dampness and mould, although the exact biological agent responsible for a particular symptom is often difficult to identify. The World Health Organization has long concluded that prevention or minimization of persistent dampness and microbial growth is the most important protective strategy, and its broader housing guidance places healthy housing within an intersectoral framework that includes design, construction, maintenance, energy, and environmental quality (World Health Organization [WHO], 2009, 2018). Current WHO housing information continues to identify structural faults, inadequate insulation, and inadequate ventilation as pathways by which moisture build-up and mould can increase the risk of allergies and asthma (WHO, n.d.). These observations make the issue directly relevant to civil engineering because many controlling variables are fixed or strongly constrained by site design, envelope detailing, material selection, drainage, workmanship, and retrofit decisions.

Recent epidemiological evidence also argues against treating dampness as a minor comfort issue. In the prospective Espoo Cohort Study, Maaranen et al. (2025) assessed dampness and mould exposures from pregnancy to 27 years of age and found exposure-duration relationships with respiratory tract infections. In Bradford, Clark et al. (2026) reported that 23% of participating children lived with damp and/or mould in early childhood; bedroom mould was associated with wheeze, and early-life dampness or mould indicators were associated with later incident hay fever, while the positive association with incident asthma did not reach statistical significance. These findings are observational and context-dependent, but their longitudinal designs strengthen the argument for prevention. A 2024 state-of-the-science review also found that the available observational literature generally associates damp or mould-affected housing with poorer mental and emotional health, while emphasizing important methodological limitations (Gatto et al., 2024).

At the same time, building-science evidence shows why simple rules such as 'increase ventilation' or 'keep room relative humidity below a single threshold' are incomplete. Moisture risk is local. A room may have moderate average humidity while a thermal bridge, window reveal, floor junction, or poorly insulated corner has a sufficiently low surface temperature to reach very high local relative humidity. Hygrothermal performance also changes with climate, orientation, wind-driven rain, solar exposure, material sorption, air leakage, construction moisture, and occupant operation. The probabilistic review by Bayat Pour et al. (2024) highlights uncertainty in hygrothermal assessment, while climate-specific simulation work such as Park et al. (2025) demonstrates that enclosure performance cannot be assumed to transfer unchanged between regions or wall systems.

The objective of this paper is to translate current health and building-science evidence into a civil-engineering framework for moisture-resilient buildings. The paper does not present new field measurements, microbiological samples, or health data. It is a critical integrative review intended to identify defensible engineering mechanisms, limitations in interpretation, and practical design and monitoring priorities. The emphasis is on preventing the physical preconditions for persistent dampness and mould rather than attempting to infer individual health risk from isolated spore measurements.

RESEARCH AND FINDINGS

Review approach and evidence boundaries

The evidence synthesis focused on three complementary source groups. First, authoritative public-health and engineering guidance was used to establish accepted principles for dampness prevention, ventilation, moisture-safe design, and remediation. Second, recent peer-reviewed epidemiological studies were used to characterize health associations without converting observational findings into causal claims. Third, building-science studies were used to examine moisture transport, thermal bridges, monitoring, and uncertainty in hygrothermal analysis. Recent literature from 2022 to 2026 was prioritized, while older WHO guidance was retained because it remains a foundational international reference for dampness and mould.

No pooled effect estimate was calculated because the included studies differ substantially in exposure definitions, building types, climates, outcomes, and study designs. The present work is therefore not a systematic review or meta-analysis. Numerical findings from individual studies are reported only where their study context is clear. Engineering equations are used as physical screening relations, not as substitutes for project-specific hygrothermal simulation or field diagnosis. This separation between measured evidence, modelling evidence, and proposed engineering synthesis is necessary to avoid presenting context-specific results as universal design limits.

Moisture should be treated as a source-pathway-receptor problem

Persistent dampness generally requires a continuing or recurrent moisture source, a transport pathway, and a location where drying capacity is insufficient. The source may be external liquid water, ground moisture, plumbing leakage, construction moisture, humid outdoor air, or indoor vapour generation. Transport may occur through gravity flow, capillary suction, pressure-driven air movement, vapour diffusion, or combinations of these mechanisms. The receiving material then stores water according to its pore structure and sorption characteristics. If wetting repeatedly exceeds drainage and drying, surface humidity rises and mould-susceptible materials may remain within favourable conditions long enough for growth.

This framework is important because visible mould is often downstream of the real defect. Cleaning or coating a surface may temporarily change appearance without correcting a roof leak, negative-pressure infiltration, missing flashing, an uninsulated concrete edge, or a concealed plumbing failure. CDC/NIOSH guidance similarly treats any indoor mould growth as evidence of a water or moisture problem and emphasizes correcting water entry and drying wet materials rather than relying on routine airborne mould sampling (Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health [CDC/NIOSH], 2025). In engineering terms, remediation is durable only when it interrupts the moisture pathway.

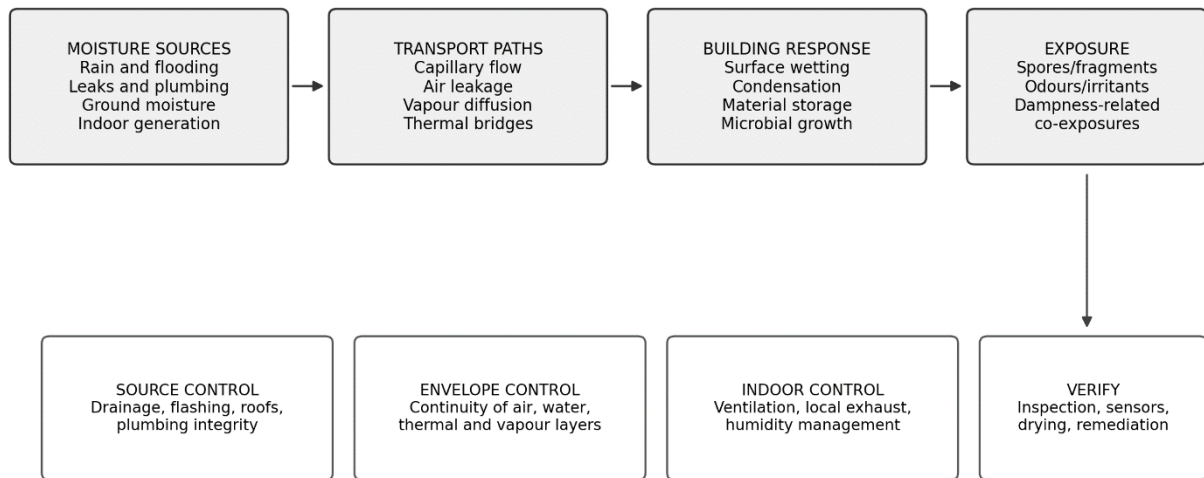


Figure 1. Source-pathway-receptor framework for building dampness and health-protective engineering control. Original synthesis by the authors.

Table 1. Major moisture mechanisms and engineering controls in buildings.

Moisture source or mechanism	Typical engineering pathway	Useful diagnostic evidence	Primary civil/building control
Rain and façade wetting	Wind-driven rain, roof overflow, failed flashing, open joints	Roof/ façade inspection; moisture mapping after storms	Drainage paths, flashings, overhangs where suitable, sealed penetrations, maintainable joints
Ground moisture	Capillary rise, hydrostatic leakage, slab/ground vapour transfer	Base-of-wall staining, material moisture, drainage condition	Site grading, subsoil drainage, capillary breaks, waterproofing, vapour control where required
Plumbing and services	Pressurized leak, condensate drain failure, chilled-pipe condensation	Leak tracing, meter trends, ceiling/cavity inspection	Accessible services, leak detection, insulated cold surfaces, reliable condensate drainage
Indoor moisture generation	Cooking, bathing, laundry, occupancy, wet processes	RH logging, source-use observations, exhaust-flow testing	Local exhaust, suitable ventilation, moisture-source management, dehumidification where justified
Air leakage	Pressure-driven humid air through cracks and penetrations	Pressure testing, smoke tracing, cavity RH/temperature	Continuous air-control layer, sealed transitions and penetrations, pressure management
Thermal bridges	Local low surface temperature raises surface RH	Infrared imaging plus verified surface temperature; 2-D modelling	Continuous insulation, thermally improved junctions, condensation-safe details

Bulk water, drainage, foundations, and plumbing remain first-order controls

The highest-capacity moisture mechanisms are usually liquid-water mechanisms. Roof drainage that allows ponding, short or disconnected downpipes, façade joints without drainage paths, poorly detailed parapets, cracked waterproofing, ground surfaces falling toward the building, and failed plumbing can introduce water at rates far greater than vapour diffusion.

These defects can also wet concealed cavities where drying is slow and visual detection is delayed. For this reason, moisture-resilient design begins outside the conditioned space: site grading must direct water away from the structure, roofs must drain reliably under expected blockage and storm conditions, façade assemblies must include realistic drainage and flashing paths, and below-grade components must account for groundwater, capillary rise, and hydrostatic pressure where relevant.

Material selection does not eliminate the need for water management. Concrete, masonry, timber, gypsum-based products, insulation, coatings, sealants, and composite panels differ in absorption, storage, redistribution, and drying behaviour. A material that is durable when occasionally wetted may still create an indoor moisture problem if adjacent layers prevent drying. Construction sequencing is also critical. Enclosing wet concrete, screeds, timber, or insulation before adequate drying can create a moisture reservoir that later appears as condensation or mould. Therefore, construction moisture should be included in commissioning and handover decisions rather than assumed to disappear automatically after occupancy.

Air leakage, vapour transport, and thermal bridges create local risk

Vapour diffusion is only one route by which water vapour crosses an enclosure. Pressure-driven air leakage can transport much larger quantities of moisture through discontinuities in the air-control layer. The direction of risk depends on climate and HVAC operation. In heating-dominated conditions, warm humid indoor air leaking outward can cool within the assembly. In hot-humid cooling conditions, humid outdoor air drawn inward can cool against air-conditioned surfaces. In hot-dry climates, risk may be more episodic and linked to intense rain, evaporative cooling, irrigated landscaping, plumbing, or nighttime surface cooling. A single vapour-barrier prescription is therefore inappropriate across climates and wall systems.

Thermal bridges intensify this problem by lowering local interior surface temperature relative to the surrounding wall. Xue et al. (2022) used transient coupled heat and moisture simulation to show strong spatial and seasonal differences around wall-to-floor thermal bridges, with moisture accumulation corresponding to higher mould-growth risk. The practical implication is that one-dimensional wall U-values are not sufficient where geometry, concrete edges, metal connections, slab penetrations, or poorly continuous insulation create local cold spots. Junction details require two-dimensional thermal review where consequences are significant.

Psychrometric screening explains why average room humidity can mislead

A useful first screening step is to distinguish room relative humidity from surface relative humidity. For indoor air with vapour partial pressure set by room temperature T_i and relative humidity ϕ_i , the approximate relative humidity at an interior surface temperature T_s can be expressed by Equation (1), assuming the air immediately adjacent to the surface is at vapour-pressure equilibrium with the room air. Here $p_{sat}(T)$ is the saturation vapour pressure at temperature T . The relation is fundamental psychrometrics and is used here only to illustrate sensitivity to surface temperature; real surfaces are affected by local air motion, heat transfer, moisture buffering, and transient conditions.

Figure 2 applies the relation to a hypothetical indoor condition of 24 °C and 60% relative humidity. As the surface temperature falls, the calculated surface relative humidity rises sharply. The dew-point temperature is approximately 15.8 °C. This is not a field dataset and does not establish a universal mould threshold. It simply shows that a room condition that appears acceptable at a central sensor can coexist with near-saturation at a cold bridge. Long-duration high surface humidity can be important even before visible liquid condensation

appears, because fungal growth depends on time, temperature, substrate, and water availability rather than a single instantaneous threshold.

$$\phi_s = \phi_i \times p_{\text{sat}}(T_i) / p_{\text{sat}}(T_s) \quad (1)$$

where ϕ_s is the calculated relative humidity at the interior surface, ϕ_i is the indoor-air relative humidity expressed as a fraction, p_{sat} is saturation vapour pressure, T_i is indoor-air temperature, and T_s is interior surface temperature. Surface condensation becomes thermodynamically possible when the local vapour partial pressure reaches saturation at the surface temperature:

$$p_{v,i} \geq p_{\text{sat}}(T_s), \text{ equivalently } T_s \leq T_{\text{dp}} \quad (2)$$

where $p_{v,i}$ is indoor vapour partial pressure and T_{dp} is the dew-point temperature corresponding to the indoor vapour pressure. Equations (1) and (2) are screening relations; detailed design should consider transient heat and moisture transfer, air movement, thermal bridges, rain, storage, and material properties (ASHRAE, 2021; Künzeli & Dewsbury, 2022).

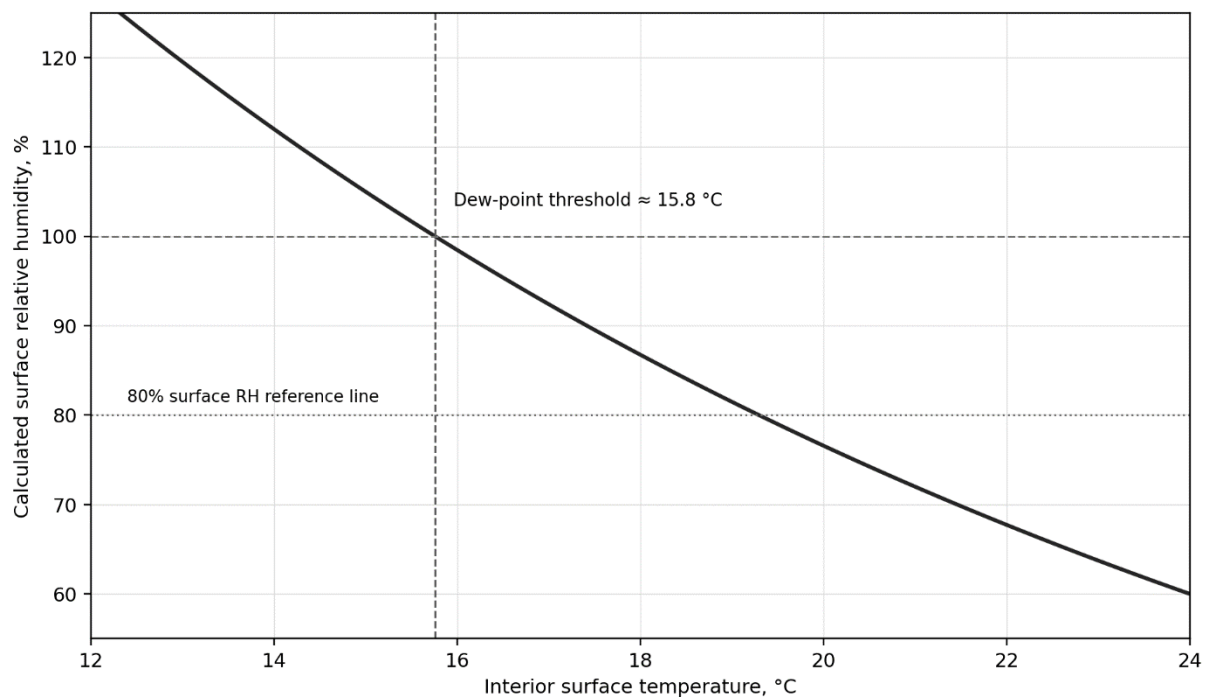


Figure 2. Illustrative calculated surface relative humidity as surface temperature decreases for indoor air at 24 °C and 60% RH. The graph is a psychrometric sensitivity calculation, not field measurements.

Health evidence supports prevention but does not justify simplistic exposure metrics

The strongest practical message from the health literature is that persistent dampness and visible or reported mould are meaningful risk indicators at the population level. WHO guidance identifies increased respiratory symptoms, allergies, and asthma among the principal health concerns associated with damp and mould-affected buildings (WHO, 2009). More recent longitudinal evidence adds temporal depth. In the Espoo Cohort Study, each additional exposure period in a detailed childhood analysis was associated with a 10% higher incidence rate of upper respiratory tract infections and a 31% higher incidence rate of lower respiratory tract infections (Maaranen et al., 2025). These figures are specific to the study design and population and should not be used as engineering design coefficients.

The Bradford study provides another useful caution about interpretation. Clark et al. (2026) found associations between early dampness or mould indicators and later hay fever, and bedroom mould was associated with wheeze in early childhood. However, incident asthma estimates were positive but not statistically significant. Reporting both significant and non-significant results is important because the health evidence does not support deterministic statements that a particular dampness observation will cause a specific disease in an individual. The correct engineering response is precautionary source control based on the well-supported association between unhealthy damp buildings and adverse respiratory outcomes.

Health may also be affected through non-respiratory pathways. Gatto et al. (2024) reviewed 19 observational studies and found that damp or mould-affected housing was generally associated with poorer mental and emotional health outcomes, including stress, anxiety, depression, and emotional symptoms. The authors also identified methodological weaknesses and a need for stronger longitudinal and intervention evidence. This matters for engineering practice because prolonged water damage can create displacement, loss of possessions, repeated repairs, odour, stigma, and uncertainty even where the specific microbial exposure cannot be quantified precisely.

Table 2. Selected recent evidence linking dampness, building conditions, and health or hygrothermal performance.

Study	Design / setting	Finding used in this review	Interpretive boundary
Maaranen et al., 2025	Prospective Espoo cohort; n=2,567; follow-up to age 27	Longer cumulative residential damp/mould exposure was associated with more respiratory tract infections; detailed childhood analysis showed exposure-response trends.	Observational; Finland; exposure reported by participants; not a design coefficient.
Clark et al., 2026	Born in Bradford cohort; 2,594 children age 3-5; later follow-up	23% had early damp/mould exposure; bedroom mould was associated with wheeze; early indicators were associated with later hay fever; incident asthma association was not statistically significant.	Observational; UK; exposure indicators and sample attrition limit generalization.
Gatto et al., 2024	State-of-the-science review; 19 observational studies	Studies generally reported associations between damp/mould-affected housing and poorer mental or emotional health.	Heterogeneous outcomes; residual confounding and limited causal evidence.
Fyfe et al., 2022	National New Zealand insulation retrofit cohort; >1 million residents	Post-retrofit chronic respiratory disease incidence was lower (OR 0.90); medication for exacerbations also decreased (RRR 0.96).	Housing intervention; does not isolate mould reduction as the sole mechanism.
Brambilla et al., 2022	Residential building case study with IEQ monitoring	Demonstrated that significant mould can remain concealed and that environmental monitoring can support earlier diagnosis.	Single case; not a prevalence or health-effect study.

Study	Design / setting	Finding used in this review	Interpretive boundary
Park et al., 2025	Climate-specific hygrothermal simulations of CLT wall assemblies	Condensation and mould risk depended on climate and assembly configuration, reinforcing project-specific assessment.	Simulation study; not direct occupant-health evidence.

Ventilation is necessary for indoor air quality but cannot repair a wet building

Ventilation removes occupant-generated moisture and indoor contaminants, but it is not a substitute for correcting water entry. Increasing outdoor-air supply in a building with active roof leakage, rising damp, or saturated materials does not remove the moisture source. In hot-humid climates, unconditioned outdoor air may itself carry a high moisture load, so ventilation design must be coordinated with dehumidification and sensible cooling. In dry climates, excessive uncontrolled ventilation can impose energy and dust penalties without addressing local plumbing or envelope defects. Current ASHRAE ventilation standards therefore sit within a broader indoor-air-quality framework rather than functioning as moisture-remediation manuals. The 2025 editions of Standards 62.1 and 62.2 address ventilation and acceptable indoor air quality for nonresidential and residential applications respectively, while Standard 160 remains the dedicated ASHRAE reference for moisture-control design analysis (ASHRAE, 2021, 2025a, 2025b).

Local exhaust deserves particular attention because bathrooms, kitchens, laundries, laboratories, and some healthcare spaces produce concentrated moisture. Exhaust effectiveness depends on actual airflow, discharge location, run time, make-up air, fan maintenance, and pressure relationships. A nominally installed fan does not guarantee moisture control. Commissioning should verify airflow and control sequences, and post-occupancy monitoring should identify whether humidity spikes decay within a reasonable period for the building type and climate.

Monitoring should diagnose mechanisms, not merely collect mould counts

Building investigation is strongest when it combines visual inspection, moisture measurements, temperature and relative-humidity logging, infrared thermography where appropriate, pressure testing, leak tracing, and review of weather and HVAC operation. The NIOSH Dampness and Mold Assessment Tool provides a structured observational approach for documenting dampness and mould-related damage and has been evaluated for use in buildings (Park & Cox-Ganser, 2022). CDC/NIOSH currently advises that routine short-term air sampling for mould is generally not recommended for building air-quality evaluations because spore counts and culture results do not represent the full range of exposures and cannot be directly interpreted against health-based limits (CDC/NIOSH, 2025).

Sensors can nevertheless be valuable when they measure physical variables linked to moisture mechanisms. Distributed temperature and relative-humidity sensors can identify cold zones and persistent humidity; surface-temperature sensors can quantify thermal-bridge conditions; moisture pins or capacitance meters can track wet materials; water-leak sensors can provide early warning; differential-pressure sensors can identify pressure regimes that drive infiltration; and HVAC trend data can reveal dehumidification or ventilation faults. Brambilla et al. (2022) demonstrated through a residential case study that extensive mould can remain unnoticed and that combined indoor-air and environmental monitoring can aid early diagnosis. Sensor data are most useful when interpreted alongside building geometry and moisture pathways rather than as stand-alone proof of health risk.

Table 3. Diagnostic and monitoring methods for dampness investigations.

Method	What it measures or reveals	Best use	Important limitation
Visual/olfactory inspection	Water stains, visible mould, musty odour, damaged finishes	Rapid whole-building screening and defect localization	Subjective; concealed moisture may be missed
Temperature and RH logging	Indoor and cavity temperature, humidity, event duration	Identifies persistent humidity and operation patterns	Central-room sensors may miss cold bridges
Surface temperature / infrared	Cold junctions, thermal bridges, wet anomalies	Locates condensation-prone surfaces and insulation defects	IR patterns require confirmation; emissivity and weather affect results
Material moisture measurement	Moisture content or comparative wetness	Tracks drying and maps wet materials	Calibration is material-dependent; salts can affect some meters
Pressure / airtightness testing	Pressure differences and leakage paths	Diagnoses infiltration/exfiltration and air-control continuity	Requires interpretation with climate and HVAC operation
Leak sensors and BMS trends	Water events, HVAC humidity, condensate and alarms	Early warning and maintenance prioritization	Sensors do not identify all hidden pathways; maintenance is required
Microbial sampling	Air or surface organisms under a defined investigation	Can answer specific microbiological questions	No universal health-based indoor mould concentration limit; short-term air sampling is not a stand-alone risk metric

Hygrothermal design must include uncertainty and climate-specific boundary conditions

Hygrothermal simulation can evaluate transient heat and moisture transport through assemblies, but model output is only as reliable as its inputs and assumptions. Material properties vary between products, batches, moisture states, and ageing conditions. Rain deposition, air leakage, solar absorption, indoor humidity, initial construction moisture, workmanship, and HVAC operation can also vary materially. Bayat Pour et al. (2024) reviewed probabilistic hygrothermal assessment and showed why deterministic single-value modelling can underrepresent uncertainty. A robust design therefore asks not only whether one nominal simulation passes, but whether the assembly remains moisture-safe under plausible combinations of uncertain inputs and foreseeable operational deviations.

This principle is particularly important for novel or low-carbon materials. Materials with high hygroscopic capacity can buffer short-term humidity but may also retain moisture if drying is restricted. Highly insulated envelopes reduce heating and cooling loads but can alter drying potential and shift condensation planes. Park et al. (2025), in climate-specific modelling of ply-lam cross-laminated timber wall assemblies, illustrated the need to evaluate condensation and mould-growth risk across actual climate conditions and assembly configurations. Such studies should not be read as universal endorsements or rejections of a material. They support a broader rule: moisture safety is an assembly property under boundary conditions, not a property of insulation thickness or material label alone.

Retrofit decisions can produce health benefits or unintended moisture penalties

Retrofit is a major opportunity because improving thermal envelopes can raise interior surface temperatures, reduce condensation risk, and lower energy demand. In a large New Zealand retrospective cohort, Fyfe et al. (2022) reported lower incidence of chronic respiratory disease following subsidized home-insulation retrofits, with an odds ratio of 0.90 for new chronic respiratory disease medication and a relative rate ratio of 0.96 for medication used to treat exacerbations. These results support the health relevance of housing improvement, but they should not be interpreted as evidence that insulation alone cures dampness. The intervention context, baseline housing quality, heating behaviour, ventilation, and other factors contribute to the observed outcome.

Poorly conceived retrofit can also create new risk. Air sealing without ventilation planning may increase indoor humidity. Internal insulation can lower the temperature of existing masonry behind the insulation and reduce drying. Vapour-impermeable layers can trap construction or rainwater. Replacement windows can remove incidental air leakage without addressing moisture generation. Therefore retrofit design should include moisture-path analysis before construction and verification afterward. The goal is not simply greater airtightness or greater insulation, but a coordinated water, air, thermal, and vapour-control strategy.

Priority increases toward prevention; lower tiers verify and manage residual risk

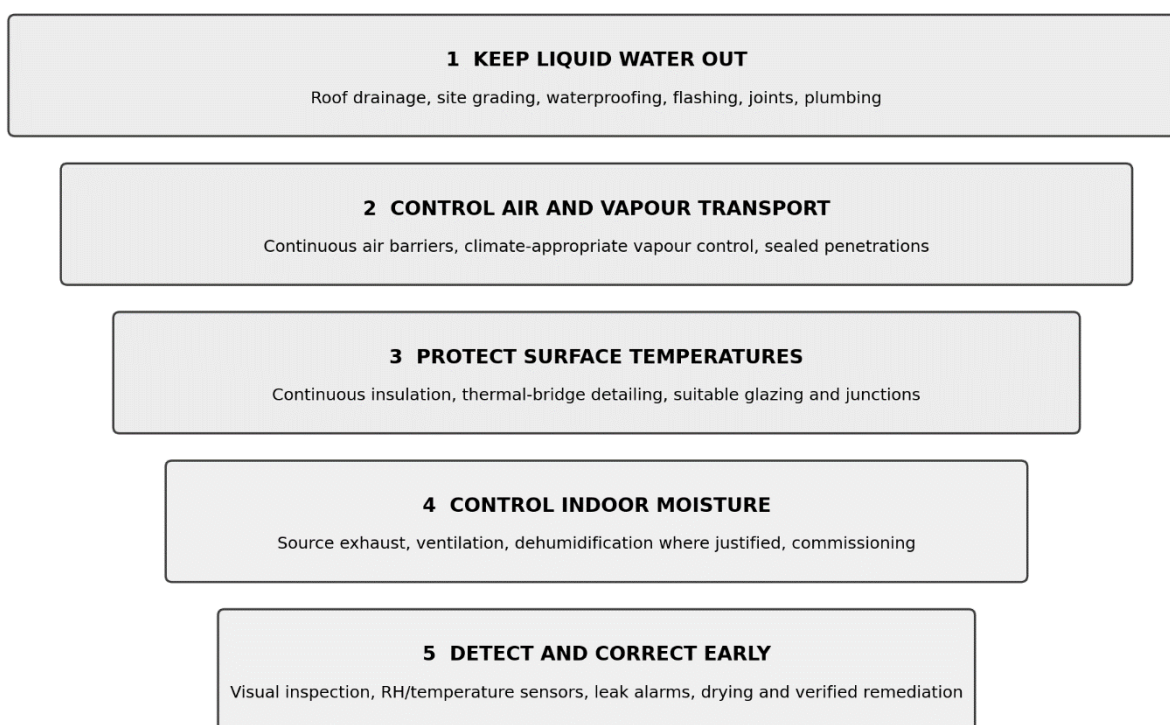


Figure 3. Health-protective hierarchy for moisture-resilient building design, operation, and remediation. Original synthesis by the authors.

Table 4. Proposed engineering hierarchy for prevention and control of dampness and mould.

Priority	Engineering action	Verification	Reason for hierarchy
1. Prevent bulk water entry	Site drainage, roofs, façades, below-grade waterproofing, plumbing	No unresolved active leakage; drainage and overflow paths verified	Highest priority because liquid-water loads can dominate all other mechanisms

Priority	Engineering action	Verification	Reason for hierarchy
2. Control transport pathways	Air-barrier continuity, penetrations, climate-appropriate vapour control	Airtightness/pressure testing where warranted; detail inspection	Prevents concealed wetting by pressure-driven air and inappropriate vapour flow
3. Protect surface temperatures	Continuous insulation, thermal-bridge treatment, junction design	Surface-temperature review; 2-D thermal modelling at critical details	Reduces local high surface RH and condensation risk
4. Manage indoor moisture	Local exhaust, ventilation, humidity control, HVAC commissioning	Measured airflow and humidity response under representative operation	Controls occupant/process moisture but cannot compensate for active leaks
5. Detect and remediate early	Inspection, sensors, rapid drying, remove irreversibly damaged porous material where necessary	Documented source correction and post-remediation verification	Prevents recurrence and limits duration of damp exposure

A health-protective hierarchy for design, construction, and operation

The synthesis supports a hierarchy in which prevention is given priority over downstream treatment. First, bulk liquid water should be kept out through site drainage, roofing, flashing, façade drainage, waterproofing, and plumbing integrity. Second, air and vapour transport should be controlled with continuous, climate-appropriate layers and sealed penetrations. Third, surface temperatures should be protected by continuous insulation and careful thermal-bridge detailing. Fourth, indoor moisture generation should be managed through local exhaust, ventilation, dehumidification where justified, and verified controls. Fifth, performance should be checked through inspection, commissioning, sensors, and rapid response to leaks or wet materials.

This hierarchy also clarifies responsibility. Occupant behaviour can influence indoor moisture, but recurring dampness should not be attributed automatically to occupants when building defects, insufficient heating/cooling capacity, poor ventilation design, or thermal bridges are present. Engineering diagnosis should establish the dominant mechanism. A shower-generated humidity spike requires a different response from capillary rising damp, a failed roof membrane, or infiltration of humid outdoor air through a negatively pressurized wall cavity. Effective public-health protection depends on matching the intervention to the physical cause.

Implications for hot-dry and hot-humid regions

Climate changes the dominant moisture loads but does not remove the need for moisture engineering. In hot-dry and semi-arid regions, annual average humidity may be low while buildings still experience damaging episodic loads from intense rainfall, roof failures, plumbing leaks, irrigated soils, wet rooms, and localized cooling. Large day-night temperature swings can also create cold surfaces in selected conditions. In hot-humid regions, outdoor vapour pressure is often high and air-conditioned interiors can create inward vapour drives; uncontrolled infiltration can therefore wet cool interior layers. These contrasting mechanisms are relevant to international practice because a detail that performs acceptably in one climate may fail when copied into another.

For Botswana and Malaysia, this paper deliberately avoids claiming local dampness prevalence or measured health outcomes because no project-specific dataset was analysed. The appropriate next step is climate- and building-type-specific field research that combines envelope inspection, indoor and surface temperature and humidity, material moisture, HVAC operation, and occupant-reported dampness indicators. Such studies could establish which

mechanisms dominate in schools, housing, healthcare buildings, and university facilities and could test whether low-cost monitoring can support maintenance prioritization. Until such data are available, design should rely on established building-physics principles and locally validated boundary conditions rather than imported rules of thumb.

CONCLUSION

Dampness and indoor mould are public-health issues with direct civil-engineering causes and controls. The evidence reviewed here supports a shift from reactive cleaning toward prevention of the moisture conditions that allow recurrence. Liquid-water management is the first priority because roof, façade, foundation, drainage, and plumbing failures can introduce moisture at rates that ventilation cannot compensate for. Air leakage, vapour transport, thermal bridges, and indoor moisture generation then determine whether assemblies dry or remain persistently wet. Average room relative humidity alone is therefore an incomplete indicator; local surface temperature and material moisture are often more diagnostic.

Recent longitudinal health studies strengthen the association between damp or mould-affected housing and respiratory outcomes, but they also demonstrate the need for careful interpretation. Significant findings should not be converted into deterministic claims for individual occupants, and non-significant findings should not be omitted. Short-term airborne mould sampling is likewise poorly suited as a universal health metric. Engineering decisions are better anchored to evidence of water damage, visible or odorous dampness, persistent high moisture, building defects, and documented physical pathways.

The proposed hierarchy is simple in principle but demanding in execution: keep bulk water out; control capillary, air, and vapour transport; maintain moisture-safe surface temperatures; provide climate-appropriate ventilation and local exhaust; and verify performance through commissioning, inspection, sensing, and timely drying or remediation. Hygrothermal modelling can support these decisions when uncertain inputs and climate-specific boundary conditions are treated explicitly. Retrofit can improve both health and energy performance, but only when moisture behaviour is evaluated as part of the design rather than after failure.

For civil engineering practice, the central conclusion is that a healthy building is not created by mould removal alone. It is created by a durable enclosure, reliable drainage and services, controlled environmental systems, and maintenance processes that identify wetting early. Integrating these functions into design and asset management offers a practical route to reducing avoidable respiratory and indoor-environment risks without relying on unverified exposure claims.

REFERENCES

- ASHRAE. (2021). ANSI/ASHRAE Standard 160-2021: Criteria for moisture-control design analysis in buildings. ASHRAE.
- ASHRAE. (2025a). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2025: Ventilation and acceptable indoor air quality. ASHRAE.
- ASHRAE. (2025b). ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2025: Ventilation and acceptable indoor air quality in residential buildings. ASHRAE.
- Bayat Pour, M., Niklewski, J., Naghibi, S. A., & Frühwald Hansson, E. (2024). A literature review of probabilistic hygrothermal assessment for building envelopes. *Building and Environment*, 261, 111756. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111756>
- Brambilla, A., Candido, C., & Gocer, O. (2022). Indoor air quality and early detection of mould growth in residential buildings: A case study. *UCL Open Environment*, 4, e049. <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000049>

- Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. (2025, February 25). Mold, testing, and remediation. CDC. <https://www.cdc.gov/niosh/mold/testing-remediation/index.html>
- Clark, S. N., Adamkiewicz, G., Yang, T. C., & McEachan, R. R. C. (2026). A longitudinal cohort study of damp and mouldy housing and children's respiratory health in Bradford, UK. *Environmental Pollution*, 401, 128187. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.128187>
- Fyfe, C., Telfar Barnard, L., Douwes, J., Howden-Chapman, P., & Crane, J. (2022). Retrofitting home insulation reduces incidence and severity of chronic respiratory disease. *Indoor Air*, 32(8), e13101. <https://doi.org/10.1111/ina.13101>
- Gatto, M. R., Mansour, A., Li, A., & Bentley, R. (2024). A state-of-the-science review of the effect of damp- and mold-affected housing on mental health. *Environmental Health Perspectives*, 132(8), 086001. <https://doi.org/10.1289/EHP14341>
- Künzel, H., & Dewsbury, M. (2022). Moisture control design has to respond to all relevant hygrothermal loads. *UCL Open Environment*, 4, e037. <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000037>
- Maaranen, J., Hugg, T. T., Paciência, I., Jaakkola, M. S., Jaakkola, J. J. K., & Rantala, A. K. (2025). Home dampness and molds and occurrence of respiratory tract infections in the first 27 years of life: The Espoo Cohort Study. *American Journal of Epidemiology*, 194(12), 3492-3500. <https://doi.org/10.1093/aje/kwaf200>
- Park, J. H., & Cox-Ganser, J. M. (2022). NIOSH Dampness and Mold Assessment Tool (DMAT): Documentation and data analysis of dampness and mold-related damage in buildings and its application. *Buildings*, 12(8), 1075. <https://doi.org/10.3390/buildings12081075>
- Park, J. H., Kang, Y., Kang, S. T., & Kim, S. (2025). Assessment of hygrothermal performance of ply-lam CLT wall assemblies in a dry-winter humid continental climate region. *Building and Environment*, 277, 112912. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112912>
- World Health Organization. (2009). WHO guidelines for indoor air quality: Dampness and mould. WHO Regional Office for Europe.
- World Health Organization. (2018). WHO housing and health guidelines. World Health Organization.
- World Health Organization. (n.d.). Housing: Health risks. World Health Organization. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/healthy-urban-environments/housing/health-risks>
- Xue, Y., Fan, Y., Lu, J., & Ge, J. (2022). The moisture distribution in wall-to-floor thermal bridges and its influence on mould growth. *UCL Open Environment*, 4, e042. <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000042>

HEALTH-PROTECTIVE CIVIL ENGINEERING FOR INTERMITTENT WATER SUPPLY: CONTAMINATION PATHWAYS, PRESSURE MANAGEMENT, AND RESILIENT DISTRIBUTION IN WATER-STRESSED CITIES

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia (UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Intermittent piped water supply is often used when source, treatment, storage, transmission, or operational capacity cannot meet demand continuously. From a civil-engineering perspective, however, intermittency changes the hydraulic state of a distribution network and can therefore change health risk even when treated water leaving the plant meets quality targets. This critical integrative review examines depressurization, contaminant intrusion, stagnation, biofilm detachment, disinfectant decay, household storage, and supply restoration as linked mechanisms at the engineering-public-health interface. Recent World Health Organization guidance and peer-reviewed evidence from 2023-2026 were prioritized, with foundational studies used where necessary. The evidence supports several consistent conclusions. Low or negative pressure can permit external water to enter through defects and cross-connections; system recharge can then transport contaminants toward consumers. Pilot-scale research indicates that repeated stagnation and re-pressurization can destabilize biofilms, while laboratory studies show that wastewater intrusion can rapidly alter chlorine residuals and disinfection-by-product formation. Household adaptation to interruptions may also reduce water availability for hygiene and increase dependence on storage. Observational health studies report associations between interruptions and enteric, respiratory, and psychosocial outcomes, but they do not justify universal causal effect estimates. A health-protective civil-engineering strategy should therefore maintain positive pressure where feasible, reduce leakage and burst frequency, control refill transients, flush strategically, manage disinfectant residuals, protect storage, monitor critical hydraulic and water-quality nodes, and progress toward reliable continuous supply. Botswana is discussed only as a water-stressed application context; no local field measurements are claimed. The proposed framework treats continuity, pressure, water quality, and exposure as one integrated infrastructure-health problem.

Keywords: intermittent water supply; drinking-water distribution; contamination intrusion; pressure management; public health; water safety planning

INTRODUCTION

Safe drinking water is not determined solely at the treatment-plant outlet. The distribution system is part of the treatment-to-consumer barrier, because hydraulic conditions, pipe integrity, storage, water age, disinfectant residual, cross-connections, and operational procedures influence the quality that reaches the tap. This distinction is especially important where a piped network is operated intermittently. During scheduled or unscheduled interruptions, portions of a network may lose pressure, drain partially, remain stagnant, admit

air, or experience changing flow direction. When supply resumes, rapid filling and altered shear conditions can mobilize material that accumulated during the off-service period. The engineering problem is therefore not simply one of providing a certain daily volume. It is a coupled problem of quantity, continuity, hydraulic integrity, water quality, and exposure.

The public-health relevance of this coupling is recognized in current international guidance. The World Health Organization (WHO, 2026a) continues to place preventive, catchment-to-consumer risk management at the center of drinking-water safety, while the WHO water safety planning approach requires hazards and control measures to be evaluated throughout the supply chain rather than through end-point testing alone. Current WHO guidance also emphasizes that microbial contamination remains a primary drinking-water risk and that risk management should be proactive (WHO, 2026b). Intermittent operation complicates this objective because conventional assumptions used for continuously pressurized systems, including persistent outward leakage at defects and relatively stable residence time, may not hold throughout the operating cycle.

Intermittent water supply is not a single hydraulic condition. Systems differ in duration of supply, scheduling, source constraints, topography, reservoir operation, pressure zones, network age, leakage, household storage, and the degree to which pipes empty between supply periods. Consequently, neither contamination probability nor health impact can be represented by one universal coefficient. Kumpel and Nelson (2016) showed in a foundational review that intermittent supply occurs in diverse forms and is associated with water-quality concerns, while more recent laboratory, modeling, pilot-scale, and epidemiological studies have clarified specific mechanisms. These include intrusion during low pressure, air-water transients and filling dynamics, biofilm detachment, disinfectant loss, chemical changes following wastewater intrusion, and household behavioral responses (Ferrante et al., 2024; Leifels et al., 2025; Niven et al., 2026; Odhiambo et al., 2023; Roberts et al., 2025).

The purpose of this paper is to synthesize that evidence from a civil-engineering perspective and convert it into a health-protective design and operations framework for water-stressed cities. The objectives are to identify the principal source-pathway-receptor mechanisms created or amplified by intermittency, distinguish well-supported findings from context-dependent results, describe monitoring variables that link hydraulic events with water quality, and organize engineering interventions from immediate risk reduction to transition toward reliable continuous service. Botswana is included only as a relevant water-stressed context. A 2022 World Bank Group diagnostic characterized the country as water stressed and identified climate and infrastructure pressures on water-supply reliability (World Bank Group, 2022). This paper does not infer current network performance from that report and does not present new measurements from Gaborone or elsewhere in Botswana.

RESEARCH AND FINDINGS

Review approach and evidence boundaries

This study used a critical integrative review rather than a formal systematic-review design. The purpose was engineering synthesis, not estimation of a pooled epidemiological effect. Priority was given to WHO guidance current to 2026 and peer-reviewed studies that directly examined intermittent distribution hydraulics, contamination intrusion, biofilm behavior, disinfectant chemistry, monitoring, or human outcomes. Recent evidence from 2023-2026 was emphasized, while older sources were retained when they established mechanisms that remain relevant. Evidence types were kept distinct throughout the interpretation. Hydraulic and quantitative microbial risk-assessment models can demonstrate plausible exposure pathways under defined

assumptions, but they are not substitutes for field incidence data. Laboratory and pilot systems permit controlled comparison, but their numerical effects cannot be transferred directly to a full-scale network. Observational household studies can identify associations, but residual confounding and exposure misclassification constrain causal interpretation.

This distinction is central to academic defensibility. A pressure loss does not automatically imply that contaminated water entered a pipe, because intrusion additionally requires a defect or connection, an unfavorable external hydraulic head, a contaminant source, and sufficient duration. Likewise, a detectable microbial change during pilot-scale intermittent operation does not imply disease at the same magnitude in consumers. Risk emerges from a chain of conditions. Figure 1 therefore represents intermittency through a source-pathway-receptor logic rather than through a direct line from outage to illness. The framework is consistent with water safety planning, in which hazardous events, existing controls, monitoring, corrective action, and verification are considered together (WHO, 2023).

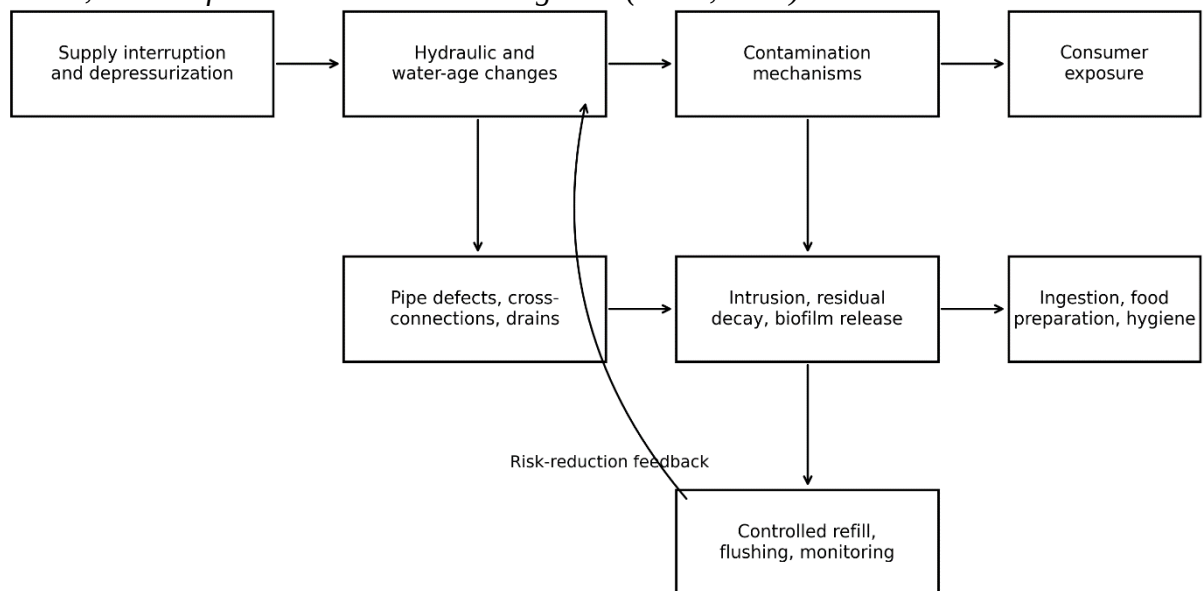


Figure 1. Source-pathway-receptor representation of health risk during intermittent water-supply operation. Original conceptual synthesis by the authors based on WHO (2023, 2026a) and the cited literature.

Table 1. Principal intermittent-supply mechanisms, exposure pathways, and monitoring indicators.

Condition or event	Engineering mechanism	Potential exposure pathway	Useful indicators
Depressurization	Internal pressure falls below surrounding hydraulic head at a defect	Ingress of contaminated external water	High-frequency pressure; outage chronology; sanitary inspection
Stagnation	Velocity falls and water age increases	Residual loss; local chemical and microbial change	Residual disinfectant; temperature; water age model
Rapid refill	Velocity, pressure and shear change during restoration	Mobilization of deposits, intruded water or biofilm material	Pressure transient; turbidity; first-flush sampling

Condition or event	Engineering mechanism	Potential exposure pathway	Useful indicators
Cross-connection/backflow	Reversed or fluctuating pressure acts across an unprotected connection	Entry of non-potable water	Backflow-device inspection; pressure; connection survey
Household storage	Longer residence time and handling outside the utility main	Post-distribution contamination or residual loss	Storage condition; turnover; residual; microbial verification

Intermittency as a hydraulic state change

Under continuous service, a well-operated distribution system is normally maintained at positive pressure relative to its surroundings. Leakage through a defect then tends to be outward. When pressure falls substantially during an interruption, the direction of the hydraulic gradient can reverse locally. Groundwater, water from a flooded chamber, contaminated soil water, or liquid associated with a nearby sewer defect can become hydraulically capable of entering the pipe. The condition can be represented conceptually by the pressure difference

$$\Delta P = P_{\text{ext}} - P_{\text{int}} \quad (1)$$

where P_{ext} is the fluid pressure outside a defect and P_{int} is the internal pipe pressure at the same elevation. When ΔP is positive, intrusion through an available opening is hydraulically possible. Equation (1) is intentionally a screening condition rather than an intrusion-flow equation. Actual intrusion volume depends on defect geometry, discharge behavior, external saturation, local pressure history, and the duration of the pressure differential. Odhiambo et al. (2023) combined hydraulic modeling and quantitative microbial risk assessment to show how intrusion scenarios associated with pipe breaks and intermittent conditions can create health-relevant exposure under specified assumptions. The value of such modeling is not a universal risk number; it is its ability to identify combinations of low pressure, contamination source, and network transport that warrant control.

Intermittency also creates operational transients. Filling a partially drained main compresses and releases air, changes velocity rapidly, and can produce pressure oscillations if valves and pumps are operated without a controlled refill procedure. Ferrante et al. (2024) used a laboratory system to investigate hydraulic effects of intermittent operation and remedial measures. Their work reinforces an important design principle: the off-service and refill phases must be treated as hydraulic operating states in their own right, not as periods outside normal network analysis. The consequences can include uneven service, air-related meter error, localized high velocities, and altered pressure distribution. In practice, pressure loggers with sufficient temporal resolution are therefore more informative than an occasional static pressure reading when the objective is to understand interruption risk.

Equity is also hydraulic. High elevations, distal branches, and zones with unfavorable head can receive shorter supply duration or lower pressure than hydraulically advantaged users. Ayyash et al. (2024) demonstrated through network optimization that sectorization and operating decisions under scarcity can be formulated to consider pressure, equity, and operational objectives together. Such methods do not remove the health risks inherent in depressurization, but they show that, where intermittency cannot immediately be eliminated, operating schedules need not be treated as arbitrary. Engineering optimization can reduce inequitable service and avoid unnecessarily severe pressure deficits while longer-term capacity improvements are pursued.

Intrusion, recharge, and first-flush exposure

The most direct water-quality pathway created by depressurization is contaminant intrusion. Pipe cracks, failed joints, leaking valves, service-connection defects, and cross-connections can all act as pathways. The surrounding environment determines the hazard. A defect in clean, unsaturated soil presents a different risk from a defect below a leaking sewer, inside a contaminated valve chamber, or in an area subject to flooding. Risk assessment should therefore combine hydraulic criticality with sanitary inspection and spatial information on sewers, drains, flood-prone areas, and known cross-connections. This is consistent with WHO's preventive framework, which emphasizes identifying hazards before contamination reaches consumers (WHO, 2026a).

Restoration of supply is a critical phase because material that entered or accumulated during depressurization may be transported downstream. The first water reaching consumers after an interruption may therefore be less representative of normal steady operation than a routine sample collected hours later. This has consequences for monitoring design. Event-based sampling should consider the beginning of refill, the first consumer draw, distal nodes, low points, and locations where hydraulic models indicate flow reversal or long residence time. A routine monthly grab sample taken under stable daytime operation can miss a short contamination episode created by an outage. Conversely, a transient turbidity or microbial signal after restoration should be interpreted with the event chronology rather than automatically attributed to treatment failure.

Controlled laboratory studies provide mechanistic support for concern about wastewater intrusion without proving that every network interruption produces such contamination. Fan et al. (2024) experimentally examined sewage intrusion and reported rapid changes in microbial and dissolved-organic-matter characteristics under their test conditions. Roberts et al. (2025) investigated simulated wastewater intrusion into chlorinated drinking water and found that intrusion characteristics influenced chlorine residual and disinfection-by-product formation and speciation. Those results are especially useful because they show that intrusion can create both microbial-control and chemical-quality questions. They should not be converted into a fixed field concentration increase, since the experiments used specified intrusion fractions, source waters, disinfectant doses, and contact times. The engineering implication is instead that protection against intrusion is preferable to relying on post-intrusion disinfection alone.

Table 2. Selected recent evidence and the limits that should govern engineering interpretation.

Evidence	Design	Main contribution	Interpretive boundary
Odhiambo et al. (2023)	Hydraulic modeling + QMRA	Links low-pressure intrusion scenarios to potential infection risk	Risk estimates depend on modeled defects, contamination and exposure assumptions
Ferrante et al. (2024)	Laboratory hydraulic study	Shows intermittent operation and remedial actions alter filling/hydraulic behavior	Laboratory geometry and operation are not a full-scale network
Leifels et al. (2025)	90 m pilot-scale PVC testbed	Shows biofilm detachment and microbial changes under intermittent operation	Pilot-scale disinfectant, material and ecology are system specific

Evidence	Design	Main contribution	Interpretive boundary
Roberts et al. (2025)	Controlled laboratory chemistry study	Shows simulated wastewater intrusion can change residual and DBP formation/speciation	Specified source waters, intrusion fractions, doses and contact times
Niven et al. (2026)	Observational household study	Associations between interruptions and selected child-health outcomes in peri-urban Malawi	Does not establish universal causation or transferable effect size

Stagnation, biofilms, water age, and disinfectant residual

When service stops, water age increases and velocity may approach zero in parts of the network. Stagnation changes the physical and chemical environment at the pipe wall and can allow disinfectant residual to decrease. When flow resumes, increased shear can detach deposits and biofilm material into the bulk water. Leifels et al. (2025) demonstrated this mechanism in three 30-day experiments in a 90 m pilot-scale PVC distribution testbed. Intermittent operation increased total and intact cell concentrations relative to continuous operation in that experimental system, and the authors identified biofilm detachment as an important influence on biological stability. The pilot-scale design is a strength for mechanistic inference but also a boundary: pipe material, disinfectant regime, temperature, microbial ecology, and full-scale network complexity differ among real systems.

Disinfectant decay is often represented for screening and network-modeling purposes by a first-order expression

$$C(t) = C_0 \exp(-k t) \quad (2)$$

where $C(t)$ is disinfectant concentration after elapsed time t , C_0 is the concentration at the start of the considered period, and k is an apparent first-order decay coefficient. EPANET permits first-order bulk reaction representation for chlorine decay, but coefficients require system-specific calibration when used for decision making (U.S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2020). Figure 2 illustrates normalized sensitivity for hypothetical k values and must not be interpreted as observed chlorine decay in Botswana or any other network. The figure's purpose is to show why a prolonged water age can materially change residual even when the initial concentration is unchanged. Wall reactions, temperature, natural organic matter, pipe condition, nitrification in chloraminated systems, and contaminant intrusion can make real behavior more complex than Equation (2).

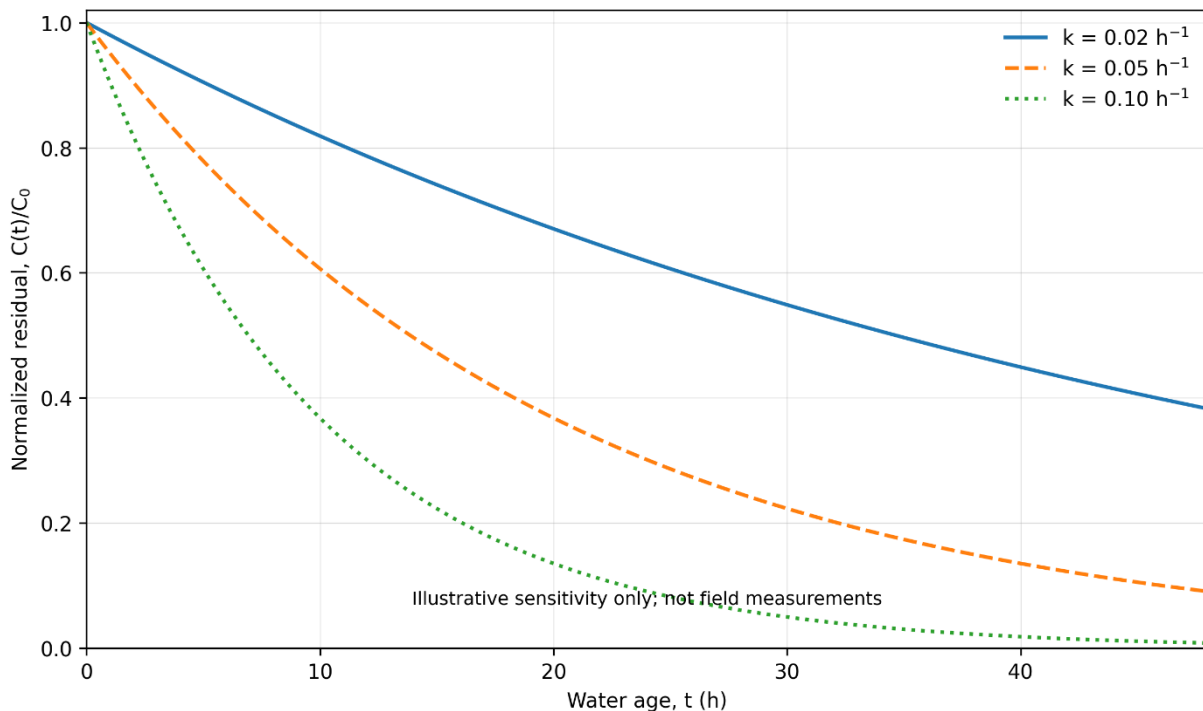


Figure 2. Illustrative first-order disinfectant-decay sensitivity for three hypothetical rate coefficients. Curves are dimensionless calculations from Equation (2) and are not field measurements.

A useful operational indicator is therefore not simply the residual measured at the treatment outlet, but the residual distribution across location and time, especially during restoration. Low residual after an interruption can reflect long water age or increased demand exerted by material in the system; an unexpectedly rapid residual loss can also serve as a trigger for investigation. Turbidity, conductivity, temperature, pressure, flow, and microbial indicators provide complementary evidence. No single online parameter can certify microbial safety. The value of continuous sensing is its ability to detect hydraulic and physicochemical anomalies that can trigger targeted sampling, flushing, or isolation.

Household storage, behavior, and health evidence

Intermittent networks shift part of water-system operation from the utility to the household. Consumers may store water in roof tanks, drums, buckets, or other containers to bridge the off-service period. Storage improves availability, but it also adds residence time, surfaces for biofilm growth, opportunities for contamination during handling, and possible loss of disinfectant residual. The engineering boundary of the system therefore extends beyond the property connection in practical risk management. Secure, cleanable, covered storage with appropriate turnover and protection from cross-connection is preferable to uncontrolled open storage. Utilities also need communication protocols that tell customers when water has been restored, whether flushing is recommended, and what actions are warranted after a suspected contamination event. Advice should be based on local public-health authority procedures rather than generic rules.

Water quantity and predictability also influence health behavior. When supply is uncertain, households may conserve stored water and alter handwashing, cleaning, bathing, or food-preparation practices. Thomson et al. (2024), in a multisite observational study, found that water-supply interruptions were associated with more frequent stressful behaviors and

emotions, with predictability modifying some responses. The finding widens the health lens beyond microbial ingestion, but it does not establish that a particular engineering outage duration causes a fixed psychological outcome. Predictability can nevertheless be treated as a legitimate service-quality variable because reliable schedules and accurate communication reduce the uncertainty households must manage while technical improvements are being implemented.

Recent epidemiological evidence further demonstrates why careful language is necessary. Niven et al. (2026) studied 237 households in peri-urban Malawi and reported associations between reported water-supply interruptions and caregiver-reported child diarrhea and acute respiratory infection with fever. The study did not find that every interruption produced microbial contamination at the household water sample, and its observational design cannot by itself prove causation or define an effect size transferable to another country. The contribution of such work is to show that interruptions can interact with water quantity, quality, storage, hygiene, and household stress in ways that warrant integrated engineering and public-health investigation. A civil-engineering response should therefore seek to prevent hazardous hydraulic states while supporting epidemiological and water-quality surveillance rather than using epidemiological associations as design constants.

Monitoring architecture for health-protective operation

A monitoring system for intermittent supply should be event oriented. The basic question is not only whether a parameter exceeded a threshold, but what hydraulic event occurred before, during, and after the change. Pressure and flow data define the operating state; disinfectant residual, turbidity, conductivity, temperature, and selected online surrogates help identify unusual water-quality behavior; microbial sampling verifies biological quality at a slower timescale. Asset and operational records add essential context, including valve operations, pump starts, burst repairs, reservoir level, outage duration, complaints, and flushing. When these data streams are synchronized, a utility can distinguish a treatment-plant problem from a distribution event and can prioritize inspection or sampling more efficiently.

Sensor location matters as much as sensor count. High-value locations include pressure-zone boundaries, high elevations, distal nodes, areas with frequent main breaks, points near sewers or drains, storage outlets, and nodes predicted to experience high water age or flow reversal. Palma et al. (2025) examined monitoring-system design for contaminant detection under pipe-break-induced events, illustrating how event scenarios can inform sensor placement. Burnet et al. (2025) reviewed progress and challenges in automated on-site microbial monitoring from source to tap, emphasizing that automation is promising but must be integrated with quality assurance and appropriate interpretation. These studies support a tiered strategy rather than an assumption that continuous microbial measurement is universally available or sufficient.

A practical architecture combines three layers. The first is high-frequency hydraulic monitoring, because pressure loss defines when intrusion becomes hydraulically plausible. The second is online or frequent physicochemical monitoring to detect restoration anomalies and residual loss. The third is targeted microbiological verification and sanitary investigation after defined triggers. Triggers can include a pressure below the utility's operational minimum, a burst coinciding with loss of pressure, abnormal turbidity on refill, unexpectedly rapid residual loss, or a cluster of consumer complaints. Threshold values must be derived from local standards, network characteristics, and validated baseline data; this paper intentionally does not invent universal trigger concentrations.

Table 3. Event-oriented monitoring variables for intermittent distribution systems.

Variable	Why it matters	Preferred timing or location	Engineering use
Pressure	Defines depressurization and intrusion plausibility	High-frequency logging at high, distal and critical nodes	Event detection; pressure-zone diagnosis
Flow / meter data	Identifies refill, reversals and demand response	Mains, DMA boundaries, reservoirs	Model calibration; refill analysis
Residual disinfectant	Indicates disinfectant persistence and unusual demand	Treatment outlet, storage, distal nodes; before/after restoration	Residual management; anomaly trigger
Turbidity	Can respond to mobilized deposits or restoration disturbance	First water after refill and selected critical nodes	Target flushing and follow-up sampling
Microbial indicators	Provide direct verification of microbiological water quality	Risk-based/event sampling and regulatory locations	Verification; investigation
Operational records	Provide event chronology and causal context	Valve/pump/burst/outage/complaint databases	Link measurements to actual operations

Engineering intervention hierarchy

The most protective engineering intervention is to reduce and ultimately remove the need for intermittent distribution. Continuous service is not achieved by opening valves permanently; it requires sufficient source and treatment capacity, storage, transmission reliability, network hydraulic capacity, leakage control, metering and demand management, energy reliability, and financial and institutional support. Converting a highly leaky intermittent network directly to continuous pressure without repairing critical defects can increase leakage and bursts. Transition therefore requires staged diagnosis and investment. Figure 3 organizes interventions as a hierarchy: reduce the scarcity or capacity constraint, protect network integrity, manage unavoidable interruptions and refill, verify water safety, and protect consumers during residual risk.

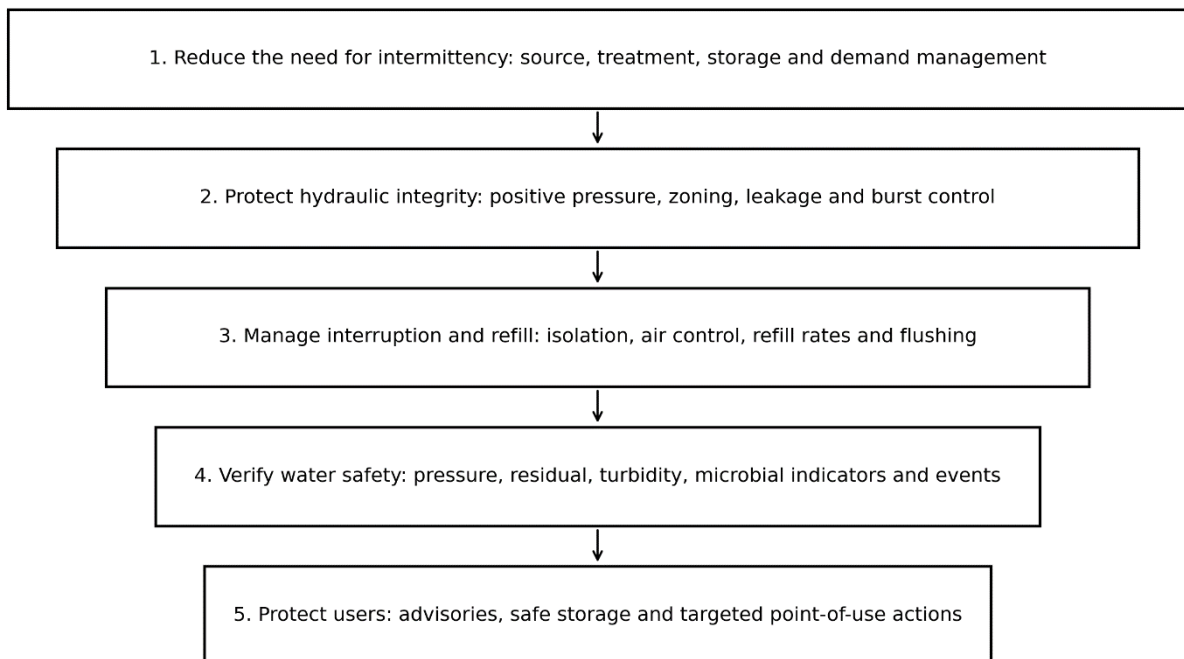


Figure 3. Health-protective civil-engineering intervention hierarchy for intermittent water supply. Original framework by the authors.

Where intermittency persists, maintaining positive pressure in as much of the network as feasible should be a primary objective. Pressure zoning, elevated or service storage, variable-speed pumping, pressure-control valves, and operating schedules can be evaluated through hydraulic modeling. Leakage and burst management serve both resource and health objectives because fewer defects reduce pathways for intrusion. Active leakage control should be linked to asset condition and sanitary criticality: a recurring leak adjacent to a sewer or in a flood-prone chamber may merit higher priority than an equal-volume leak in a lower-risk location. Backflow prevention and cross-connection control remain essential because negative or fluctuating pressure can make unprotected connections particularly hazardous.

Refill should be engineered rather than improvised. Valve sequencing and pump operation can limit severe transients; air valves must be appropriately selected, located, maintained, and protected against contamination; and flushing plans should consider where potentially poor-quality first water will travel. Flushing consumes scarce water, so indiscriminate flushing is not a sustainable default. Hydraulic models, turbidity/residual response, and event history can identify targeted locations and volumes. Ferrante et al. (2024) provide laboratory evidence that operational measures can alter intermittent-system hydraulic behavior, while Leifels et al. (2025) show why initial water after stagnation may warrant special attention from a biological-stability perspective.

Table 4. Staged intervention pathway from immediate risk control to reliable continuous service.

Time horizon	Civil-engineering action	Primary health-protection logic	Important caution
Immediate	Controlled refill; targeted flushing; pressure/residual monitoring; advisories	Reduce exposure during unavoidable events	Do not use generic thresholds without local standards

Time horizon	Civil-engineering action	Primary health-protection logic	Important caution
Short term	Leak/burst repair; cross-connection control; critical-valve maintenance	Reduce pathways and recurrence	Prioritize sanitary criticality, not leakage volume alone
Medium term	Pressure zoning; storage optimization; calibrated hydraulic model; sensor network	Improve pressure stability, equity and early detection	Model must be calibrated with event data
Long term	Source/treatment/transmission capacity, demand management, asset renewal, reliable power	Remove structural dependence on intermittent distribution	Continuous pressure requires leakage and asset readiness

Disinfectant management should be equally cautious. Increasing chlorine dose is not a substitute for hydraulic integrity, because contamination can exert chlorine demand and higher or prolonged disinfectant exposure can affect chemical by-products and acceptability. Roberts et al. (2025) demonstrated experimentally that wastewater-intrusion chemistry can modify both residual and disinfection-by-product behavior. A robust strategy is therefore multi-barrier: prevent intrusion, manage water age, maintain an appropriate system-specific residual, monitor critical locations, and use booster disinfection only where justified by validated water-quality modeling and regulatory requirements. The aim is adequate microbial protection without assuming that more disinfectant is always safer.

Implications for Botswana and comparable water-stressed cities

Botswana offers a relevant application context because water scarcity and climate variability place high value on reliable and efficient urban water infrastructure. The World Bank Group's 2022 Country Private Sector Diagnostic described Botswana as already water stressed and projected increased stress by 2040, while identifying infrastructure deficiencies and climate pressure as threats to reliability. These statements provide context, not a 2026 operational diagnosis. Distribution conditions differ among settlements and zones, and any claim about current interruption frequency, pressure, leakage, or microbial quality requires current utility data and field measurement. The appropriate research response is therefore to develop a Botswana-specific evidence base rather than to import numerical results from Malawi, India, Europe, or laboratory rigs.

A defensible Botswana study could combine high-frequency pressure logging with outage records, hydraulic-network modeling, event-based water-quality sampling, and household service observations. Pressure sensors should be distributed across elevation and pressure zones, including distal and historically problematic areas. Sampling should be paired with event timing and include residual disinfectant, turbidity, standard microbial indicators, and locally appropriate physicochemical parameters. Asset data would identify pipe age, material, repairs, sewer proximity, and valve operations. The resulting data could be used to calibrate hydraulic models and test whether observed anomalies are associated with specific low-pressure events. Only after such calibration should quantitative risk assessment or optimization be used to estimate intervention benefits.

The same approach is transferable to other hot, dry and water-stressed cities. Scarcity can create pressure to ration supply, but rationing should not be evaluated only by the volume

saved. The engineering assessment must include hydraulic integrity, water-quality stability, consumer storage, inequity, energy use, leakage, and the cost of repeated system draining and filling. Where a continuous system cannot immediately be achieved, the transition pathway should specify measurable service targets, such as progressively reducing outage frequency and duration, reducing the number and duration of depressurization events, improving pressure equity, lowering burst recurrence, and increasing the proportion of events with verified safe restoration. Those indicators can be audited without claiming health outcomes that have not been measured.

Integrated interpretation, research gaps, and limitations

The reviewed evidence converges on a central finding: intermittent supply is best understood as a sequence of hydraulic and water-quality states rather than as a binary service label. Depressurization creates the possibility of intrusion; stagnation changes water age and residual; refill changes velocity, pressure, and shear; and household storage adds another residence and handling stage. Health risk depends on how these states intersect with defects, external contamination, disinfectant behavior, exposure, and host susceptibility. This systems interpretation explains why two neighborhoods with the same nominal hours of supply can experience different water-quality risk and why a utility cannot infer safety from continuity data alone.

Several research gaps remain. Field studies that synchronize pressure, flow, residual, turbidity, microbial indicators, and consumer exposure across complete interruption cycles are still comparatively limited. More work is needed to determine when pilot-scale biofilm responses reproduce at full scale; how pipe material, temperature, disinfectant strategy, and external contamination interact; and which event-based sensor combinations provide the best early warning at affordable cost. The health literature would benefit from designs that independently measure outage exposure, water quantity, household storage, microbial quality, hygiene, and clinical outcomes so that pathways can be separated rather than collapsed into a single interruption variable. Intervention trials or strong quasi-experimental evaluations of network upgrades are particularly valuable because they can test whether hydraulic improvements translate into measurable health protection.

This review has limitations. It is integrative rather than systematic and did not perform meta-analysis or formal risk-of-bias scoring. The included studies span laboratory systems, pilot rigs, hydraulic models, quantitative microbial risk assessments, and observational populations; their numerical results are therefore not directly comparable. The paper proposes an engineering framework but does not validate it against a specific network. Equations (1) and (2) are intentionally simplified conceptual or screening relations. The illustrative chlorine-decay curves are not measured data, and none of the tables reports new Botswana measurements. These limitations are important because they define the correct use of the paper: as a technically grounded framework for design, monitoring, and research, not as evidence that a specific utility or city currently has unsafe water.

CONCLUSION

Intermittent water supply should be treated as an infrastructure-health problem, not only as a water-allocation problem. Interruptions can change pipe pressure, water age, flow direction, disinfectant behavior, and household storage practices. When depressurization coincides with defects and an external contaminant source, intrusion becomes hydraulically possible. When supply resumes, refill can transport intruded material and detach deposits or biofilm. Recent experimental and pilot-scale evidence strengthens the mechanistic basis for these concerns,

while observational studies show that interruptions are associated with health and psychosocial outcomes in some settings. The evidence does not support a universal illness rate, contamination concentration, or safe outage duration, and such values should not be invented or transferred between cities.

Civil engineering provides direct opportunities for risk reduction. The priority sequence is to reduce the structural need for intermittency, maintain positive pressure where feasible, repair critical leakage and cross-connections, manage refill transients, protect storage, preserve an appropriate disinfectant residual, and synchronize hydraulic monitoring with water-quality verification. Hydraulic models should be calibrated with event data, and operational decisions should incorporate equity as well as pressure and cost. In Botswana and comparable water-stressed settings, the immediate research need is a locally measured evidence base linking interruption chronology to pressure and water quality. A staged transition toward reliable, continuously pressurized service, supported by water safety planning and verified through event-oriented monitoring, offers the strongest long-term basis for protecting both infrastructure performance and public health.

REFERENCES

- Ayyash, F., Zhang, C., Javadi, A. A., & Farmani, R. (2024). Optimal operation of intermittent water supply systems under water scarcity. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 150(3), 04024001. <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6227>
- Burnet, J.-B., Demeter, K., Dorner, S., Farnleitner, A. H., Hammes, F., Pinto, A. J., Prest, E. I., Prévost, M., Stott, R., & van Bel, N. (2025). Automation of on-site microbial water quality monitoring from source to tap: Challenges and perspectives. *Water Research*, 274, 123121. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123121>
- Fan, M., Ren, A., Yao, M., Li, X., van der Meer, W., Yu, G., Medema, G., Rose, J., & Liu, G. (2024). Disruptive effects of sewage intrusion into drinking water: Microbial succession and organic transformation at molecular level. *Water Research*, 266, 122281. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122281>
- Ferrante, M., Rogers, D., Mugabi, J., & Casinini, F. (2024). A laboratory investigation on the effects of intermittent water supply and remedial measures. *Water Resources Research*, 60(2), e2023WR035282. <https://doi.org/10.1029/2023WR035282>
- Kumpel, E., & Nelson, K. L. (2016). Intermittent water supply: Prevalence, practice, and microbial water quality. *Environmental Science & Technology*, 50(2), 542-553. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03973>
- Leifels, M., Cheng, D., Cai, J., Nadhirah, N., Mohidin, A. F., Santillan, E., Woo, Y., Hill, E., Wu, S. W., Boon, N., Favere, J., Whittle, A. J., & Wuertz, S. (2025). Biofilm detachment significantly affects biological stability of drinking water during intermittent water supply in a pilot scale water distribution system. *Scientific Reports*, 15, 22408. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03535-1>
- Niven, C. G., Clark, B., Floess, E., Chirwa, B., Matekenya, M., Budden, E., Cadono, S., Chavula, J., Chisamanga, V., Dzinkambani, A., Kaponda, C., Ngondo, N., Patterson, N., Symon, S., Chunga, B. A., Holm, R. H., Chigwechokha, P., de los Reyes, F. L., III, Workman, C. L., ... Ercumen, A. (2026). Associations between water supply interruptions and water use, drinking water quality, child health, and caregiver stress in peri-urban Malawi. *Environmental Science & Technology*, 60(4), 2917-2929. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c08820>
- Odhiambo, M., Viñas, V., Sokolova, E., & Pettersson, T. J. R. (2023). Health risks due to intrusion into the drinking water distribution network: Hydraulic modelling and quantitative

- microbial risk assessment. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 9(6), 1701-1716. <https://doi.org/10.1039/D2EW00720G>
- Palma, L., Hatam, F., Di Nardo, A., & Prévost, M. (2025). Design of monitoring systems for contaminant detection in water networks under pipe break-induced events. *Sensors*, 25(17), 5320. <https://doi.org/10.3390/s25175320>
- Roberts, T., Kumpel, E., Rajesh, L., Lanzarini-Lopes, M., Reckhow, D., & Chavarria, K. A. (2025). Impacts of wastewater intrusion on disinfection byproduct formation: An experimental study. *PLOS Water*, 4(4), e0000273. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000273>
- Thomson, P., Pearson, A. L., Kumpel, E., Guzmán, D. B., Workman, C. L., Fuente, D., Wutich, A., & Stoler, J. (2024). Water supply interruptions are associated with more frequent stressful behaviors and emotions but mitigated by predictability: A multisite study. *Environmental Science & Technology*, 58(16), 7010-7019. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08443>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2020). EPANET 2.2 user manual. U.S. Environmental Protection Agency.
- World Bank Group. (2022). *Creating markets in Botswana: A diamond in the rough - Toward a new strategy for diversification and private sector growth*. Country Private Sector Diagnostic.
- World Health Organization. (2023). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers* (2nd ed.). World Health Organization.
- World Health Organization. (2026a). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first, second and third addenda*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2026b). *WHO water, sanitation, hygiene and waste strategy 2026-2035*. World Health Organization.

CIVIL ENGINEERING CONTROL OF CONSTRUCTION AND ROAD DUST FOR PUBLIC HEALTH IN HOT, DRY CITIES

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia (UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Construction sites, unpaved roads, and temporary haul routes are important sources of fugitive particulate matter in rapidly developing cities, particularly where dry surfaces, frequent earthworks, heavy traffic, and limited rainfall favor repeated dust generation and resuspension. The public-health consequence is not determined by visible dust alone because particle size, mineral composition, source activity, meteorology, exposure duration, and receptor location all influence risk. This paper critically integrates recent construction-monitoring studies, road-dust research, authoritative air-quality guidance, and civil-engineering control principles to develop a health-informed framework for dust management in hot, dry urban environments. Recent field evidence shows that construction particulate concentrations vary strongly with activity and environmental conditions; in one earthwork and foundation study, water spraying effectively reduced TSP and PM₁₀, while fog-cannon use was more effective for PM_{2.5}. Road-dust studies likewise show that surface silt, vehicle characteristics, traffic intensity, and pavement condition govern resuspension. A current U.S. EPA AP-42 industrial unpaved-road relationship is therefore used only as a transparent screening tool to demonstrate the sensitivity of emissions to surface and vehicle parameters, not as a substitute for site measurement. The synthesis indicates that the most defensible strategy is hierarchical: prevent fines generation, improve or stabilize traffic surfaces, reduce vehicle disturbance, contain material handling, separate clean and dirty traffic, and verify performance using paired upwind-downwind or background-site monitoring. Water-only suppression can be short-lived in arid climates and chemical suppressants require environmental compatibility assessment. The proposed source-pathway-receptor framework connects civil-engineering decisions directly with worker and community exposure, providing a practical basis for dust-control plans, monitoring design, and research in data-limited settings including southern Africa.

Keywords: construction dust; road dust; particulate matter; unpaved roads; dust suppression; public health; civil engineering.

INTRODUCTION

Fugitive dust sits at an unusual boundary between civil engineering and public health. It is produced by routine engineering operations such as excavation, grading, compaction, crushing, demolition, concrete and masonry work, aggregate storage, and vehicle movement on unsealed surfaces. These activities are temporary at an individual project, yet collectively they can be persistent across rapidly developing urban areas. Dust also continues after construction activity

leaves the immediate source. Fine material tracked onto public roads can be resuspended by traffic, while unpaved access roads and shoulders can become repeated emission sources. The engineering decisions that determine surface condition, traffic routing, material handling, drainage, and maintenance therefore also influence human exposure.

Particulate matter is conventionally discussed by aerodynamic size. PM10 includes particles with aerodynamic diameters of 10 micrometres or less, while PM2.5 refers to particles 2.5 micrometres or less. The distinction matters because particle size affects atmospheric residence, transport, deposition within the respiratory system, measurement technique, and the relative importance of different sources. The World Health Organization identifies particulate matter as a major air pollutant of health concern and reports strong evidence of adverse health effects from exposure. Its global air-quality guidelines recommend annual mean concentrations of 5 micrograms per cubic metre for PM2.5 and 15 micrograms per cubic metre for PM10, with 24-hour guideline values of 15 and 45 micrograms per cubic metre, respectively (World Health Organization, 2021). These are health-based guideline values rather than construction-site compliance limits, but they demonstrate why short-term local increments should not be dismissed simply because a project is temporary.

Construction dust is especially difficult to control by a single generic measure. A systematic review by Fang et al. (2024) found substantial variation in construction particulate monitoring methods, including the choice of particle metric, instrument, monitoring point, duration, and treatment of contextual variables. Subsequent real-time work by Fang et al. (2025) showed that PM1, PM2.5, and PM10 dynamics respond differently to operational and environmental conditions. Yan et al. (2023), using upwind-downwind monitoring through earthwork and foundation stages, likewise found that particulate emissions varied with activity, humidity, wind speed, and mitigation measures. These findings imply that a dust plan based only on scheduled watering or visible observations is incomplete because it does not establish which source is dominant, which particle fraction is being controlled, or whether exposure at a receptor has actually fallen.

Road dust creates a related but distinct problem. Vehicle tyres mechanically disturb the surface, while wheel forces and turbulent wakes lift loose particles into the air. On industrial and construction roads, the surface silt fraction and mean vehicle weight are important predictors of emissions in the U.S. Environmental Protection Agency AP-42 method (U.S. Environmental Protection Agency, 2006). Field work in open-pit haul-road conditions has confirmed that vehicle and pavement characteristics can strongly influence resuspension (Wang et al., 2023). Recent road-dust research further demonstrates that resuspension can materially affect local particulate concentrations and that the road surface should be treated as a dynamic reservoir receiving material from soil, tyre and brake wear, construction tracking, atmospheric deposition, and adjacent land (Sheng et al., 2025).

Hot and dry environments intensify the engineering challenge. Surface moisture can be lost rapidly, water is often scarce, unsealed roads remain common in temporary works and peri-urban networks, and wind can transport freshly disturbed material beyond the work boundary. At the same time, indiscriminate watering may create mud, reduce traction, waste potable water, or shift contamination into runoff. Chemical suppressants can offer longer persistence, but their environmental acceptability depends on composition, dosage, leaching behaviour, receiving soils and waters, and intended road use. A 2024 study of oil and gas produced waters, for example, concluded that these waters did not meet beneficial-reuse recommendations for dust

suppression, illustrating why a material should not be selected solely because it appears inexpensive or available (Farnan et al., 2024).

The southern African context is also important because monitoring networks and project-level data can be sparse. In Botswana, Wiston (2017) identified construction, vehicles, mining, and other development-related sources among air-quality concerns, while Lassman et al. (2020) demonstrated that portable low-cost systems could provide useful particulate measurements during a five-week field campaign in Palapye. These studies do not establish present-day construction-dust concentrations in Gaborone, nor should they be interpreted as doing so. They instead show both the relevance of particulate pollution and the feasibility of expanding measurement in data-limited settings.

The objective of this paper is to integrate recent evidence into a practical civil-engineering framework that connects dust generation with health-relevant exposure. The paper addresses four questions: which construction and road processes most directly control particulate generation; how should monitoring distinguish project increments from background concentrations; which engineering controls are most defensible in hot, dry settings; and how can dust management be organized so that interventions are verified rather than assumed to work. The study is a critical integrative review and design synthesis. It does not report new field measurements, epidemiological observations, or experimentally measured control efficiencies.

RESEARCH AND FINDINGS

Review approach and evidence boundaries

The review prioritized peer-reviewed studies published from 2023 to 2026 when they provided direct field evidence on construction emissions, road-dust resuspension, monitoring, or dust-control performance. Earlier sources were retained where they remain authoritative or where local evidence is limited. The World Health Organization guidance was used for health context, and U.S. EPA AP-42 was used for emission-factor structure because it remains an established engineering reference for fugitive dust. The evidence was interpreted as a heterogeneous body rather than pooled statistically. Construction studies differ in building type, project phase, materials, equipment, instrument technology, sampling duration, weather, and local background concentrations. Road studies differ in surface gradation, silt, moisture, traffic, speed, vehicle mass, and maintenance. Combining those results into a single universal percentage reduction would therefore create false precision.

The analysis follows a source-pathway-receptor logic. A source is an operation or surface capable of generating particulate matter. The pathway includes mechanical suspension, vehicle wake, wind transport, deposition, and later resuspension. Receptors include workers, machine operators, pedestrians, motorists, nearby residents, schools, health facilities, and other sensitive land uses. Controls are then classified according to where they interrupt this chain. This structure is useful because it prevents overreliance on personal protective equipment. Respiratory protection may be necessary for particular occupational tasks, especially where respirable crystalline silica is relevant, but it does not protect nearby communities and does not reduce the environmental source.

The framework deliberately separates ambient particulate matter from occupational exposure to specific hazardous dusts. PM_{2.5} and PM₁₀ monitoring can show the mass concentration of airborne particles, but it does not identify all chemical or mineral hazards. Silica-containing dust, metal-rich road dust, diesel soot, and other particles can require additional analytical or occupational-hygiene assessment. Accordingly, a site with apparently moderate PM mass may still need task-specific controls if the material contains a hazardous constituent.

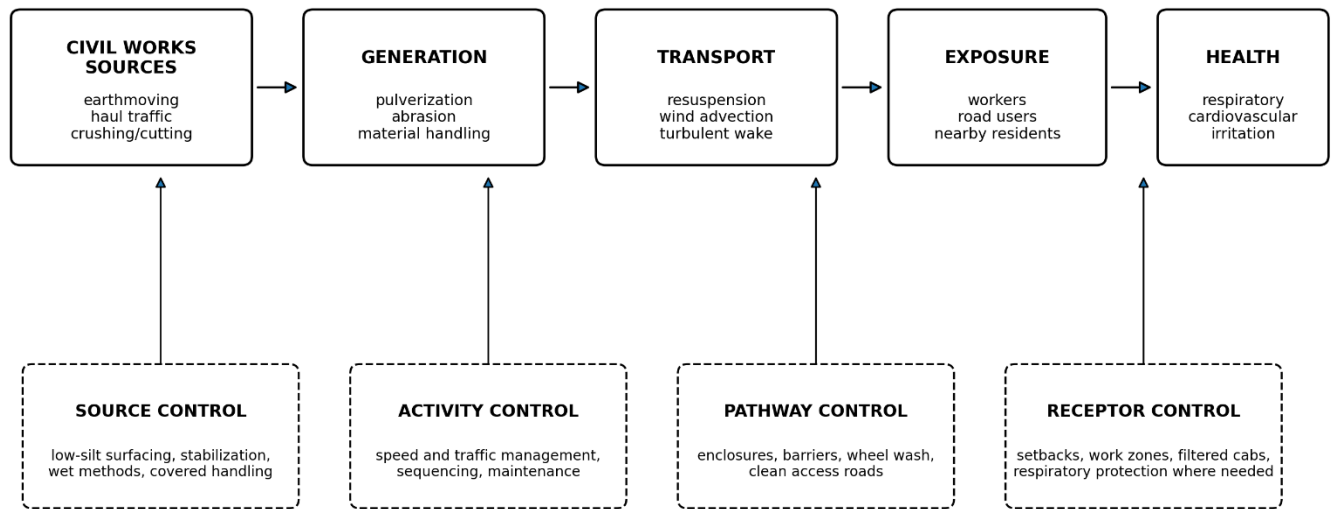


Figure 1. Source-pathway-receptor framework linking civil works, particulate generation and transport, human exposure, and engineering controls. Source: Authors' original synthesis.

Civil works as particulate sources

The first engineering question is not how to suppress a dust cloud after it appears, but why the fines became available for suspension. Earthmoving exposes previously protected soil and repeatedly breaks aggregates. Grading spreads loose fines over large surface areas. Vehicle movement then applies wheel loads, shear, and turbulent airflow. Crushing, screening, drilling, sawing, and demolition create fresh particles by fracture. Material dropping from loaders or conveyors releases particles at transfer points. Stockpiles and spoil surfaces may emit through wind erosion after active work stops. These mechanisms differ, so a control that is effective for one source may do little for another.

Table 1. Construction and road-dust sources interpreted through an engineering control lens.

Source/activity	Primary generation mechanism	Health-relevant particle issue	Civil-engineering control leverage
Excavation and grading	Disturbance and breakup of dry soil; vehicle passes over exposed fines	TSP and PM ₁₀ often prominent; finer fraction depends on soil and activity	Limit exposed area; maintain moisture where appropriate; sequence earthworks; stabilize inactive areas
Unpaved access and haul roads	Wheel pulverization, shear and turbulent wake; repeated resuspension	PM ₁₀ -dominant fugitive dust with a smaller fine fraction	Improve surfacing; reduce silt; stabilize; manage speed, traffic and maintenance
Aggregate handling and stockpiles	Drop impact, transfer points, wind erosion	Coarse and inhalable particles; material-specific fines	Reduce drop height; enclose transfer; cover or crust stockpiles; wind protection
Cutting, grinding and demolition	High-energy fracture of concrete, masonry or rock	Can include respirable fine particles and crystalline silica	Wet cutting; local extraction; enclosure; task-specific occupational controls
Track-out to paved roads	Mud and fines carried by tyres, then dried and resuspended by public traffic	Repeated PM ₁₀ resuspension outside site boundary	Wheel washing; stabilized exit; paved apron; prompt removal by suitable sweeping/cleaning
Diesel-powered plant	Combustion exhaust plus mechanically generated dust	Fine and ultrafine particles, black carbon, with activity dust	Low-emission equipment, maintenance, idle reduction, electrification where feasible

Field evidence reinforces the need for activity-based control. Yan et al. (2023) found statistically distinguishable upwind and downwind particulate levels during earthwork and foundation construction and identified hammer piling, waste stacking, and material transportation as important activities in the studied project. Their analysis also found that water spraying effectively reduced TSP and PM₁₀, whereas fog-cannon use was more effective for PM_{2.5}. The correct interpretation is not that every project should use the same equipment. It is that particle size and release mechanism influence control performance. Coarser mechanically generated particles are often more readily captured by conventional wetting, while finer particles can remain airborne unless droplet size, placement, enclosure, or extraction is better matched to the source.

The 2025 high-rise construction measurements reported by Aranda Morales et al. broaden this point by simultaneously considering PM_{2.5}, PM₁₀, black carbon, and ultrafine particles at early-stage high-rise sites in Dutch cities. This multi-pollutant approach shows why visible mineral dust is only one component of construction-related air pollution. Heavy diesel equipment can create a fine-particle plume even when the ground surface appears adequately wetted. A health-informed dust plan should therefore distinguish mechanical dust control from engine-emission management rather than assuming that one intervention addresses both.

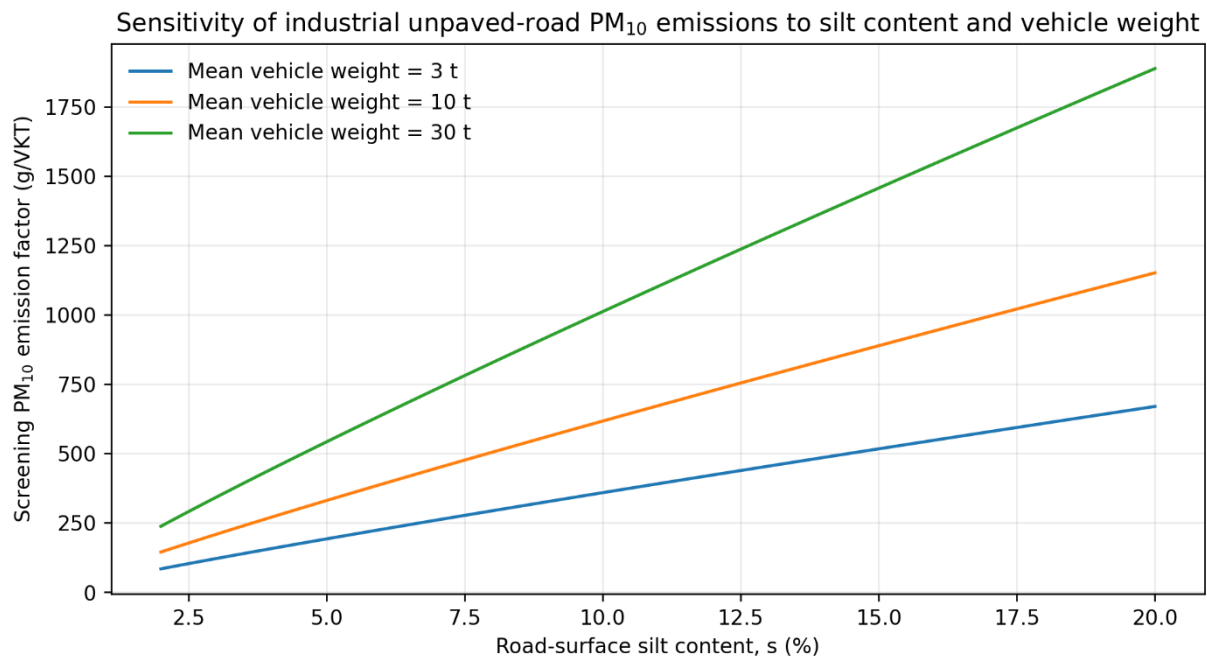
Unpaved roads and temporary haul routes as engineered emission surfaces

Temporary roads are often treated as secondary construction infrastructure, yet they can dominate the duration and frequency of dust-generating events. A cut slope may be excavated once; a haul road can be driven thousands of times. The emissions depend on more than whether the road is labelled 'unpaved.' Gradation, silt fraction, surface moisture, aggregate durability, rutting, corrugation, potholes, spillage, traffic volume, vehicle mass, speed, and maintenance all influence the amount of loose fines and the energy available to suspend them.

The current U.S. EPA AP-42 method for industrial unpaved roads expresses the size-specific emission factor as a function of surface-material silt and mean vehicle weight. For a construction or industrial road, the relationship can be written as Equation (1), where E is the emission factor in lb/VMT, s is surface silt content in percent, W is mean vehicle weight in tons, and k, a and b are particle-size-specific empirical constants (U.S. Environmental Protection Agency, 2006). For PM₁₀, k = 1.5, a = 0.9 and b = 0.45; for PM_{2.5}, k = 0.15 with the same exponents. The factor can be converted using 1 lb/VMT = 281.9 g/VKT. The equation should be used only within its intended source conditions and is not a substitute for local monitoring, particularly for chemically stabilized surfaces or unusual materials.

$$E = k (s/12)^a (W/3)^b \quad (1)$$

Equation (1) is useful conceptually because it converts two modifiable civil-engineering variables into an emission consequence. Surface silt can be reduced by selecting a more durable, better graded wearing course, preventing spillage, preserving coarse aggregate, and maintaining the road before fines dominate the surface. Mean vehicle weight is often constrained by production needs, but traffic can still be managed through routing and source-extent reduction. Speed is not explicit in AP-42 industrial-road Equation (1a), but independent field research shows that vehicle and pavement characteristics, including operating conditions, influence resuspension (Wang et al., 2023). Consequently, speed management remains a defensible practical control even when it does not appear in a particular screening equation.



Derived from U.S. EPA AP-42 Eq. 1a using $k = 1.5$, $a = 0.9$, $b = 0.45$. Illustrative calculation only; not field measurements.

Figure 2. Illustrative sensitivity of the U.S. EPA AP-42 industrial unpaved-road PM₁₀ screening emission factor to surface silt content and mean vehicle weight. Calculated from AP-42 Equation 1a using published constants; values are not field measurements. Source: Authors' calculation based on U.S. Environmental Protection Agency (2006).

Figure 2 demonstrates why road-surface management is a health intervention as well as a maintenance decision. At a fixed vehicle weight, the AP-42 relationship rises substantially as silt content increases. At a fixed silt content, heavier traffic also increases the factor. The figure should not be used to predict a Botswana road without measured silt and representative vehicle data. Its value is diagnostic: a dust-control program that repeatedly waters a highly silty, deteriorated road without improving the surface is treating the symptom while retaining the primary source condition.

Recent evidence on monitoring and control performance

Table 2. Selected evidence informing a health-oriented civil-engineering dust-control framework.

Study	Setting/method	Evidence used in this synthesis	Engineering implication
Yan et al. (2023)	Earthwork and foundation construction; empirical upwind-downwind monitoring	Activities and meteorology affected TSP, PM ₁₀ and PM _{2.5} ; water spraying and fog cannon had different particle-size performance	Monitor by activity and particle fraction; match control to source and size
Fang et al. (2024)	Systematic review of 42 construction PM monitoring studies	Large methodological inconsistency in indicators, instruments, locations and duration	Standardize monitoring objectives and contextual data before comparing sites
Fang et al. (2025)	Active construction site; high-resolution real-time PM ₁ , PM _{2.5} and PM ₁₀ monitoring	Environmental and operational factors produced dynamic, size-dependent PM behaviour	Use real-time data to diagnose short events and activity-linked peaks

Study	Setting/method	Evidence used in this synthesis	Engineering implication
Aranda Morales et al. (2025)	Three early-stage high-rise sites in Amsterdam and Rotterdam	Construction emissions included PM2.5, PM10, black carbon and ultrafine particles	Dust and combustion emissions need separate but coordinated controls
Wang et al. (2023)	Soil-pavement haul-road conditions in an open-pit mine	Vehicle and pavement characteristics influenced dust resuspension	Treat road design, surface condition and operating rules as emission controls
Liu et al. (2026)	Laboratory and three-week field evaluation of unpaved-road suppressants	Soybean-oil treatments showed durable particulate reduction relative to calcium-chloride brine in the tested sections	Evaluate persistence, dosage, durability and environmental profile, not initial suppression alone
Farnan et al. (2024)	Assessment of oil and gas produced waters proposed for dust suppression	Produced waters failed beneficial-reuse recommendations for this purpose	Availability does not establish environmental suitability; characterize suppressant chemistry before use
Lassman et al. (2020)	Five-week field campaign in Palapye, Botswana	Portable low-cost instrumentation supported PM2.5 measurement and composition sampling	Data-limited settings can expand spatial monitoring, with calibration and quality control

Health relevance: concentration, composition and exposure are different questions

A central risk-communication problem is the tendency to equate visible dust with total hazard. Coarse particles dominate visibility, but finer particles can remain suspended with little visual cue. Conversely, a visible plume does not reveal its composition. Mineral soil, cement, concrete, silica-bearing aggregate, metals deposited in road dust, tyre and brake debris, soot, and biological material have different toxicological properties. Mass concentration is therefore a necessary but incomplete descriptor.

The World Health Organization summarizes strong evidence linking ambient particulate exposure with cardiovascular and respiratory disease and other adverse outcomes (World Health Organization, 2021, 2024). Construction workers can face additional occupational hazards because they are close to the source and may perform tasks that create respirable crystalline silica. Sarkar et al. (2024), monitoring multiple construction activities in Kolkata, reported very high particulate concentrations at the studied sites and used probabilistic methods to examine possible mortality-risk increments for exposed workers. Those site-specific estimates should not be transferred to another city, but the work illustrates why project phase and task matter when evaluating exposure.

Community exposure is governed by time, distance, meteorology and activity patterns. A receptor located downwind of a site during short earthmoving peaks may experience a different exposure pattern from a worker beside a cutting operation or a resident living next to an unpaved access route. For this reason, monitoring design should reflect the decision being made. A single sensor at the site gate can neither characterize every worker task nor reliably distinguish project contribution from regional background.

A practical way to estimate a site's short-term concentration increment is to pair a representative upwind or background measurement with a downwind receptor-oriented measurement. A simple diagnostic quantity is shown in Equation (2). Negative values are set to zero for screening so that changing background conditions are not misinterpreted as a negative site

emission. The method still requires careful consideration of wind direction, sensor comparability, time synchronization, and other local sources.

$$C_{\text{excess}}(t) = \max[0, C_{\text{downwind}}(t) - C_{\text{upwind}}(t)] \quad (2)$$

Here, C_{excess} is a screening estimate of the project-related concentration increment at time t . It is not an exposure dose and should not be presented as one. If a control is introduced under reasonably comparable conditions, its measured effectiveness can then be expressed as Equation (3), where C_0 is the baseline excess concentration and C_c is the controlled excess concentration. Because wind, activity and background can change rapidly, comparisons should be made over matched operational windows whenever possible.

$$\eta = [(C_0 - C_c) / C_0] \times 100\% \quad (3)$$

Engineering control hierarchy for hot, dry environments

The most reliable dust-control strategy is hierarchical. Source prevention comes first because a particle that is never generated cannot reach a receptor. This principle favours minimizing the area and duration of exposed soil, stabilizing inactive surfaces, choosing road materials that resist breakdown, reducing unnecessary handling, controlling drop heights, and separating clean traffic from dirty traffic. The second layer reduces the mechanical energy or traffic extent that produces resuspension. Speed control, route optimization, restricted vehicle access, one-way haul patterns where practical, and avoidance of unnecessary rehandling can lower disturbance. The third layer intercepts the pathway using enclosures, barriers, covered conveyors or trucks, wheel-wash systems, stabilized site exits, and effective cleaning of paved approaches. Receptor controls, including filtered cabs, exclusion zones and respiratory protection, remain important but should not replace source control.

Water is attractive because it is familiar, rapid and generally compatible with mineral surfaces. Its limitations are equally important in hot climates. Evaporation can make the control interval short, heavy application can soften unbound surfaces, create slippery mud, increase potholing, transport fine sediments into drainage systems, and consume a scarce resource. The engineering objective is therefore not 'water as much as possible' but 'maintain the surface condition needed to control entrainment with the minimum practicable water and without degrading road performance.' This requires inspection or measurement linked to traffic, weather and drying rather than a fixed timetable alone.

Chemical and bio-based suppressants can extend the period between applications by retaining moisture, binding fines or forming a surface film. The 2026 laboratory and field study by Liu et al. found that soybean-oil-based treatments maintained low particulate emissions over a three-week field program and outperformed calcium chloride brine in durability under the tested conditions. This is promising evidence, but it does not establish universal superiority. Product performance depends on soil mineralogy, gradation, dosage, application method, traffic, wetting-drying, temperature and environmental constraints. Any suppressant proposed for large-scale use should therefore be assessed for engineering performance, leaching and runoff, corrosion, vegetation and soil effects, worker handling, reapplication interval, life-cycle cost and end-of-use implications.

Surface improvement is often more durable than repeated suppression. Gravel wearing courses with controlled fines, mechanically stabilized surfaces, sealed or paved high-traffic segments, and stabilized site exits can reduce the availability of loose particles while also improving ride quality and maintenance performance. Paving is not automatically the best answer. If unpaved shoulders, construction tracking and spilled materials remain uncontrolled, a paved segment can accumulate silt that is then resuspended by traffic. The boundary between unpaved and

paved surfaces must therefore be designed as part of the dust-control system rather than as an administrative project limit.

Track-out deserves special attention because it transfers the source into a public environment. A wheel wash alone may be ineffective if vehicles leave onto a short muddy apron and immediately reacquire fines. Effective systems combine sufficient wash length or pressure, drainage and sediment capture, a stabilized or paved exit, housekeeping, and rapid removal of deposited material. Dry sweeping that simply lifts fines back into the air is counterproductive; cleaning methods should remove material rather than redistribute it.

Table 3. Hierarchy of engineering controls for construction and road dust in hot, dry environments.

Control level	Examples	Health and engineering value	Main limitation or trade-off
1. Prevent generation	Limit exposed soil; durable low-silt surfacing; stabilize inactive areas; wet cutting; covered handling	Highest leverage because it reduces the source before dispersion	May require planning, material testing and up-front cost
2. Reduce disturbance	Speed management; fewer passes; optimized routes; controlled drop heights; maintenance before severe rutting/corrugation	Reduces mechanical energy and repeated resuspension	Needs enforcement and production coordination
3. Intercept pathway	Enclosures; barriers; covers; wheel wash; paved/stabilized exits; suitable sweeping/cleaning	Protects both workers and community receptors	Can fail if poorly positioned or maintained
4. Suppress surface	Targeted watering; compatible chemical or bio-based suppressant	Rapid response and potentially large reduction in loose dust	Water demand; short persistence; runoff, corrosion or ecological concerns for some products
5. Protect receptor	Setback; exclusion zone; filtered vehicle cab; task-specific respiratory protection	Essential final layer for high-risk tasks or unavoidable exposure	Does not remove environmental source and may not protect off-site receptors
6. Verify and adapt	Real-time PM, upwind-downwind pairing, activity logs, meteorology, inspection	Shows whether control works under actual site conditions	Sensors require QA/QC, calibration and interpretation

Monitoring as an engineering control-verification system

Monitoring is most useful when it changes a decision. A dust plan should therefore define what is measured, where it is measured, how often, what contextual data are recorded, and what action follows an exceedance or unusual trend. Fang et al. (2024) emphasized the lack of standardization across construction PM studies, while the later real-time study by Fang et al. (2025) demonstrated the value of high-resolution sensing for understanding dynamic conditions. Together these findings support a monitoring architecture built around purpose rather than instrument availability.

For community protection, at least one background or upwind location and one receptor-oriented downwind location are preferable when site geometry allows. The background monitor should be sufficiently removed from direct project emissions but still representative of the same air mass. The downwind monitor should represent a plausible receptor rather than simply the nearest convenient power outlet. Wind speed and direction are needed to interpret whether the

selected pair is valid during each analysis period. Activity logs should record excavation, hauling, crushing, concrete cutting, stockpile disturbance, watering, fogging, and any unusual event. Without an activity record, a concentration peak can be observed but not diagnosed.

Low-cost optical particulate sensors can expand spatial coverage, especially where reference-grade networks are sparse. The Botswana field work by Lassman et al. (2020) is important in this respect because it demonstrated the practical use of a portable measurement package in Palapye. Low-cost sensors, however, are sensitive to aerosol properties and environmental conditions and should not be treated as reference instruments without calibration and quality control. Co-location with a better-characterized instrument, duplicate checks, humidity assessment, time synchronization, data completeness rules and periodic cleaning can materially improve usefulness.

Action levels should be project-specific and consistent with applicable regulation, permit conditions and occupational standards. Where a jurisdiction does not prescribe a construction-site trigger, a project can still use internal management thresholds based on background-adjusted concentration, rolling averages, visible track-out, wind conditions and sensitive-receptor proximity. Such internal thresholds should be described as management triggers, not legal standards. A two-stage response can be effective: an early warning prompts inspection and adjustment, while a higher trigger pauses the generating activity until control is restored.

Table 4. Proposed project-level monitoring structure for health-informed dust management.

Monitoring element	Purpose	Suggested timing	Decision supported
Background/upwind PM2.5 and PM10	Distinguish regional/background concentration from project increment	Continuous or matched work periods	Validate downwind interpretation; identify regional events
Downwind/receptor PM2.5 and PM10	Measure concentration where exposure is plausible	Continuous during dust-generating work	Inspect activity and controls when background-adjusted concentrations rise Reclassify invalid upwind/downwind periods; intensify control in adverse conditions
Wind speed and direction	Confirm source-receptor alignment and dispersion conditions	Continuous	
Surface moisture/condition and silt sampling	Diagnose haul-road emission potential	Routine plus after maintenance/weather change	Adjust watering, grading, surfacing or stabilization
Activity and traffic log	Link PM events to excavators, trucks, crushing, cutting or transfers	Time-stamped during work	Target the responsible operation rather than applying site-wide measures blindly
Track-out inspection	Identify transferred fines on public pavement	At least each active shift and after rainfall/washing changes	Clean surface, correct wheel-wash/exit design, repair drainage
Control verification test	Quantify improvement after a measure	Before/after matched operating windows	Retain, modify or replace the intervention based on evidence

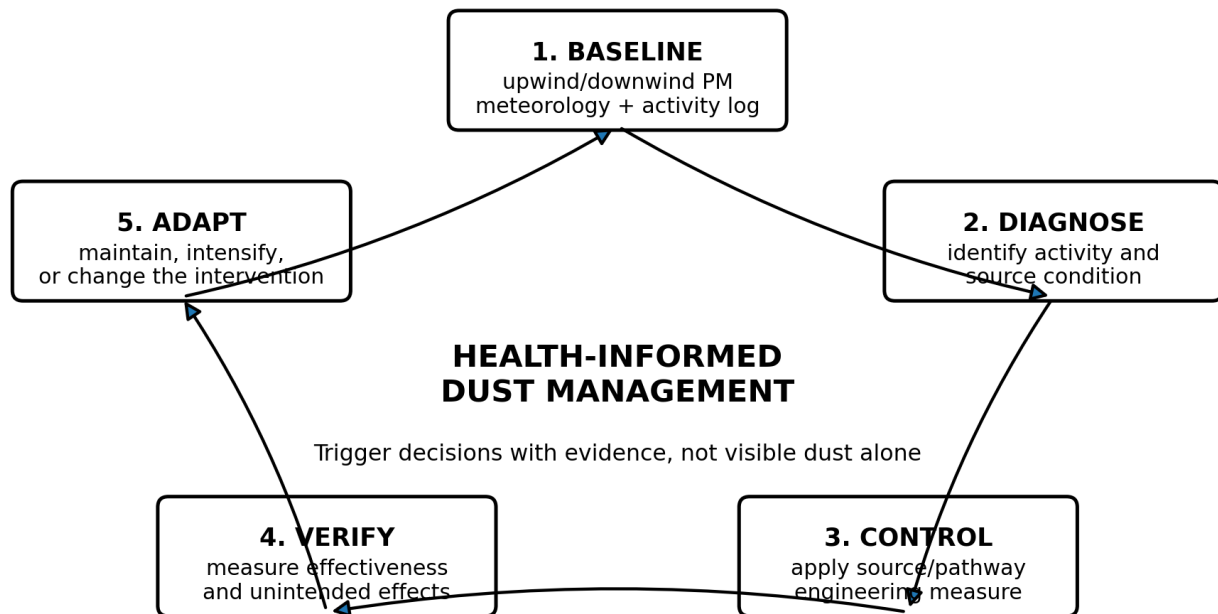


Figure 3. Adaptive monitoring and control loop for construction and road dust. Source: Authors' original synthesis.

Implications for Botswana and other dry, data-limited settings

The framework has particular relevance to countries where rapid infrastructure development, unsealed roads, mining and construction coexist with limited dense air-quality networks. The principal recommendation is not to import a numerical emission factor from another country and treat it as local truth. Instead, engineering screening tools should guide what to measure locally. For an unpaved haul road, this means measuring or at least characterizing surface fines, representative vehicle mass, traffic volume, moisture and maintenance condition. For a construction boundary, it means pairing particulate measurement with wind and activity data. The combination produces information that can support a control decision even when a full regulatory monitoring network is unavailable.

Botswana-specific evidence remains too limited to justify claims about present-day construction or road-dust exposure in Gaborone. That gap itself is important. The five-week Palapye study by Lassman et al. (2020) showed that portable instruments and filter sampling can be deployed successfully in Botswana. Future civil-engineering research could extend this approach to active roadworks, unpaved urban corridors, construction haul routes and mine-adjacent communities. Such studies should collect surface and traffic variables at the same time as PM, because concentration data without source-condition data are less useful for engineering design.

Water scarcity should be treated as a design constraint. A dust-control specification in a semi-arid environment should identify permissible water sources, quality requirements, application efficiency, storage, drainage and sediment management. Reuse water may be appropriate in some projects if its chemical and microbiological quality is compatible with workers, soils, pavements and receiving waters, but suitability must be demonstrated rather than assumed. The failure of produced waters to satisfy reuse recommendations in the Farnan et al. (2024) study is a useful warning against substituting availability for risk assessment.

A further opportunity lies in integrating dust management with pavement and geotechnical performance. The same loss of fines that produces dust can alter grading, ravel the surface,

increase corrugation and raise maintenance demand. A well-designed stabilized surface can therefore provide a co-benefit: lower resuspension and improved serviceability. Conversely, a suppressant that controls dust but weakens the surface, creates slipperiness, accelerates corrosion or contaminates runoff may be unacceptable. Dust-control selection should be incorporated into materials engineering rather than delegated solely to environmental housekeeping.

Research priorities and limitations

This synthesis has several limitations. First, construction studies use different sensors, averaging periods, project stages and background corrections, so reported concentrations and control efficiencies are not directly comparable. Second, the AP-42 relationship is empirical and was developed from a defined set of road and traffic conditions. It provides a screening structure, not a universal physical law. Third, particulate mass does not fully represent toxicity. Chemical composition, crystalline silica, metals, black carbon and ultrafine particles may require separate methods. Fourth, low-cost optical sensors can over- or under-respond depending on aerosol composition and humidity. Finally, evidence on long-term environmental consequences and life-cycle performance of emerging bio-based suppressants remains much smaller than the evidence on immediate dust reduction.

Priority research should therefore combine civil-engineering variables with exposure measurement. Field trials should report road gradation, silt, moisture, density or surface strength, traffic volume, vehicle mass and speed, meteorology, suppressant dosage and reapplication history alongside PM_{2.5} and PM₁₀. Construction studies should standardize upwind-downwind geometry and activity logs, and should distinguish short peak control from shift-average performance. In southern Africa, coordinated campaigns across dry and wet seasons would help quantify how seasonal moisture and wind alter road-dust and construction contributions. Where chemical or waste-derived suppressants are considered, leachate, runoff, corrosion and ecotoxicity should be assessed together with dust control and road performance. The most useful outcome would be a performance-based dust specification. Instead of prescribing a fixed number of watering trips per day, the specification would define required surface condition, monitoring method, permissible site increment or management trigger, sensitive-receptor provisions, and a verification procedure. Contractors could then select the least-cost compliant method while remaining accountable for measured performance. Such an approach aligns environmental health with normal civil-engineering quality assurance.

CONCLUSION

Construction and road dust should be treated as an infrastructure design and operations problem, not merely a housekeeping issue. The available evidence shows that particulate emissions are strongly conditioned by the activity being performed, the material being disturbed, the road surface, vehicle characteristics, weather and the location of receptors. Visible dust is useful as a warning, but it is not an adequate measure of PM_{2.5}, PM₁₀, particle composition or exposure. Health-informed civil engineering therefore requires explicit links between source conditions and monitoring.

The synthesis supports a clear hierarchy. The first priority is to prevent or reduce the generation of loose fines through staging, durable surfacing, stabilization, wet methods at high-energy cutting sources, and good material-handling design. The second is to reduce mechanical disturbance by controlling traffic, speed, routing and maintenance. The third is to interrupt transport using enclosures, barriers, covered loads, stabilized exits, wheel washing and effective removal of track-out. Water and chemical suppressants are valuable tools, but their persistence,

resource demand and environmental compatibility must be evaluated. Personal protective measures remain necessary for occupational tasks but should not substitute for source reduction. Monitoring closes the engineering loop. Paired background and receptor measurements, meteorological data, time-stamped activity records and surface-condition observations can identify which operation is driving an increase and whether an intervention genuinely reduces it. Low-cost sensors can support this approach in data-limited settings if calibration and quality control are addressed. The AP-42 unpaved-road relationship provides a useful illustration of how modifiable parameters such as surface silt and vehicle weight influence emissions, but local data remain essential.

For Botswana and other hot, dry environments, the most defensible next step is project-scale measurement linked directly to road and construction variables. This would allow dust management to move from generic watering schedules toward performance-based control. Civil engineers are well positioned to lead this transition because the main determinants of fugitive dust, including materials, traffic surfaces, drainage, construction sequencing and maintenance, are already within the engineering design and management process.

REFERENCES

- Aranda Morales, G., Rajiv, A. M., Venverloo, T., & Fry, J. L. (2025). Where particulates matter: High-rise construction emissions of PM_{2.5}, PM₁₀, BC, and UFP in Dutch cities. *Atmospheric Environment: X*, 28, 100373. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2025.100373>
- Fang, X., Chang, R., Zhang, Y., Zuo, J., Zou, Y., & Han, Y. (2024). Monitoring airborne particulate matter from building construction: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 86, 108708. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.108708>
- Fang, X., Chang, R., Zuo, J., Zhang, W. E., Zou, Y., & Li, K. (2025). How do environmental and operational factors impact particulate matter dynamics in building construction? Insights from real-time sensing. *Journal of Environmental Management*, 380, 125098. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125098>
- Farnan, J., Eck, A., Kearney, A., Dorman, F. L., Ismail, H., Chase, E., Liu, X., Warner, N. R., & Burgos, W. D. (2024). Oil and gas produced waters fail to meet beneficial reuse recommendations for use as dust suppressants. *Science of the Total Environment*, 919, 170807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170807>
- Khamraev, K., Cheriyan, D., & Choi, J. (2021). A review on health risk assessment of PM in the construction industry: Current situation and future directions. *Science of the Total Environment*, 758, 143716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143716>
- Lassman, W., Pierce, J. R., Bangs, E. J., Sullivan, A. P., Ford, B., Mengistu Tsidu, G., Sherman, J. P., Collett, J. L., Jr., & Bililign, S. (2020). Using low-cost measurement systems to investigate air quality: A case study in Palapye, Botswana. *Atmosphere*, 11(6), 583. <https://doi.org/10.3390/atmos11060583>
- Liu, Z., Jin, D., Yin, L., Wu, M., Fan, Z., & You, Z. (2026). Laboratory and field evaluation of soybean-oil-based dust suppressants for unpaved roads: Performance and durability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/03611981261437046>
- Parvej, S., Naik, D. L., Sajid, H. U., Kiran, R., Huang, Y., & Thanki, N. (2021). Fugitive dust suppression in unpaved roads: State of the art research review. *Sustainability*, 13(4), 2399. <https://doi.org/10.3390/su13042399>

- Sarkar, A., Thakur, B., & Gupta, A. (2024). Monitoring of construction dust and assessment of probable increment in mortality risks for exposed construction workers at Kolkata, India. *Atmósfera*, 38, 779–799. <https://doi.org/10.20937/ATM.53337>
- Sheng, M. S., Wen, L., Le Truong, Q., & Davy, P. (2025). Impact of road dust on local air pollution: A case study of Auckland, New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 55(6). <https://doi.org/10.1080/03036758.2025.2514094>
- U.S. Environmental Protection Agency. (1995). AP-42, Fifth Edition, Section 13.2.3: Heavy construction operations. Office of Air Quality Planning and Standards.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2006). AP-42, Fifth Edition, Section 13.2.2: Unpaved roads. Office of Air Quality Planning and Standards.
- Wang, J., Du, C., Chen, Z., & Wang, Y. (2023). Influence of vehicle and pavement characteristics on dust resuspension from soil pavement of open-pit mine. *Science of the Total Environment*, 878, 163252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163252>
- Wiston, M. (2017). Status of air pollution in Botswana and significance to air quality and human health. *Journal of Health & Pollution*, 7(15), 8–17. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-7.15.8>
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.
- World Health Organization. (2024). Ambient (outdoor) air pollution. World Health Organization.

HEALTH-INFORMED CIVIL ENGINEERING FOR URBAN HEAT MITIGATION: INTEGRATING PAVEMENTS, SHADE, AND BLUE-GREEN INFRASTRUCTURE IN HOT AND DRY CITIES

Ali Akbar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Botswana, Gaborone, Botswana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5282-0575>

Ali Asghar Firoozi

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, National University of Malaysia (UKM), Bangi, Selangor, Malaysia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6971-0858>

ABSTRACT

Extreme heat is increasingly a health and infrastructure problem, yet urban heat mitigation is often evaluated using surface temperature alone. This paper critically reviews recent evidence on pavement, shade, and blue-green infrastructure and develops a health-informed civil engineering framework for hot-dry cities. The review prioritizes peer-reviewed field studies, synthesis papers, and authoritative health and climate guidance published mainly from 2023 to August 2026, with emphasis on interventions that can be specified, constructed, and maintained through civil engineering practice. Evidence shows that reflective pavements can substantially lower surface and subsurface temperatures, but the same increase in solar reflectance may raise pedestrian mean radiant temperature during daytime. By contrast, well-designed tree canopy and structural shade directly reduce shortwave radiation at body level and can materially reduce high-heat exposure, although tree performance depends on climate, water availability, species, rooting conditions, and urban morphology. Permeable and evaporative pavements can add cooling where moisture is available, but their benefit is constrained by water supply, clogging, maintenance, and street-canyon shading. The central finding is that no single material property is a reliable proxy for health protection. Civil infrastructure should therefore be assessed through a complete pathway linking surface energy balance, pedestrian microclimate, exposure duration, user vulnerability, and long-term asset performance. A six-step design sequence is proposed that prioritizes shade continuity, context-sensitive pavement selection, water-sensitive green infrastructure, and field verification using radiation-aware thermal metrics. This approach provides a practical basis for designing streets and public spaces that are simultaneously heat-resilient, safe, maintainable, and health-supportive in hot and water-constrained urban environments.

Keywords: urban heat; pedestrian heat exposure; cool pavement; urban shade; green infrastructure; health-informed design.

INTRODUCTION

Extreme heat is no longer only a meteorological concern. It is an urban systems problem in which climate, land cover, infrastructure materials, human activity, and vulnerability interact. Heat can worsen cardiovascular, respiratory, renal, and occupational health risks and can progress to heat exhaustion, heat stroke, and death. The World Health Organization identifies heat as an important and growing health hazard, while the Intergovernmental Panel on Climate Change has concluded that continued warming increases the frequency and intensity of hot extremes in many regions (IPCC, 2023; World Health Organization, 2026). For civil engineers,

this creates a direct design question: how should streets, pavements, drainage systems, public spaces, and associated green infrastructure be configured so that they reduce human heat exposure rather than merely reduce the temperature of a construction material?

The distinction is important because surface cooling and human cooling are not identical objectives. A pavement with high solar reflectance absorbs less shortwave radiation and can remain cooler than conventional asphalt. From a material-energy perspective, this is beneficial because it can reduce heat storage and, in some cases, subsurface temperature. Recent reviews confirm that cool-pavement technologies can reduce pavement heating, but performance depends on material, climate, aging, and urban context (Amani et al., 2025). Reflected shortwave radiation can also be intercepted by pedestrians, building facades, vehicles, and adjacent surfaces. Field evidence from reflective pavement installations therefore shows a consequential trade-off: lower pavement surface temperature does not necessarily mean lower pedestrian radiant exposure (Elmagri et al., 2024; King et al., 2026). This is a major limitation of design approaches that use pavement surface temperature as their primary performance indicator.

Shade presents the complementary case. The air temperature difference between shade and sun can be modest, but blocking direct solar radiation can substantially change the radiant environment perceived by a pedestrian. Urban trees also provide evapotranspirative cooling when water is available, while structural shade can provide immediate radiation control without irrigation demand. City-scale observations during extreme heat show that urban parks and vegetated areas can provide locally cooler conditions, although the magnitude and timing vary with urban form and meteorology (Kabisch et al., 2023). A recent global synthesis further indicates that the cooling effect of trees depends strongly on background climate, tree traits, and urban morphology, and can be particularly relevant in hot and dry conditions when water supply and plant physiology are properly managed (Li et al., 2024). Field measurements in Tacoma, Washington, also demonstrated a strong association between nearby canopy cover and reduced probability of high daytime heat exposure (Ettinger et al., 2024).

For hot-dry and water-constrained cities, these findings create a practical engineering challenge. High solar loads favor shade-based interventions, but water scarcity can constrain evapotranspiration. Reflective materials can lower pavement temperature but may increase radiant load. Permeable pavements can support stormwater management and evaporative cooling but require appropriate hydraulic design, moisture availability, structural capacity, and maintenance. Trees need rooting volume, soil moisture, protection from compaction, and coordination with utilities and pavements. The most defensible response is therefore not a single technology but an integrated design process that evaluates thermal exposure together with structural, hydraulic, durability, safety, maintenance, and equity requirements.

The objective of this paper is to synthesize recent evidence on civil-engineering interventions for outdoor heat mitigation and to translate that evidence into a practical health-informed design framework. The paper focuses on pavements, shade, and blue-green infrastructure because these are directly influenced by civil engineering design and maintenance. It does not present new human-subject data, epidemiological estimates, or field measurements. Instead, it is a critical integrative review intended to identify robust mechanisms, known trade-offs, and design implications that can guide future field studies and infrastructure projects in hot-dry cities, including urban environments in Southern Africa and other water-stressed regions.

RESEARCH AND FINDINGS

Review approach and evidence boundaries

This study uses a critical integrative review rather than a statistical meta-analysis. Recent peer-reviewed studies and authoritative guidance were prioritized when they directly addressed one or more of the following: pavement thermal performance, pedestrian-level radiation and thermal comfort, tree or structural shade, permeable or evaporative pavements, urban greenness and health, or the relationship between infrastructure configuration and human heat exposure. Most of the evidence considered was published from 2023 through August 2026. Older concepts were retained only where they represent established physical principles. The review was designed to compare mechanisms and design consequences, not to calculate a pooled intervention effect.

This boundary is important for interpretation. Studies differ substantially in climate, pavement age, solar geometry, street-canyon form, measurement height, thermal comfort index, vegetation condition, and exposure duration. A surface-temperature reduction measured in an open test site cannot be transferred directly to pedestrian health risk in a shaded street canyon. Similarly, land-surface temperature derived from satellite imagery is valuable for urban-scale screening but is not equivalent to the thermal load on a walking person. Accordingly, the findings below emphasize direction of effect, mechanism, and context. Quantitative values are reported only when they are directly stated by the cited source and are not generalized beyond the original study conditions.

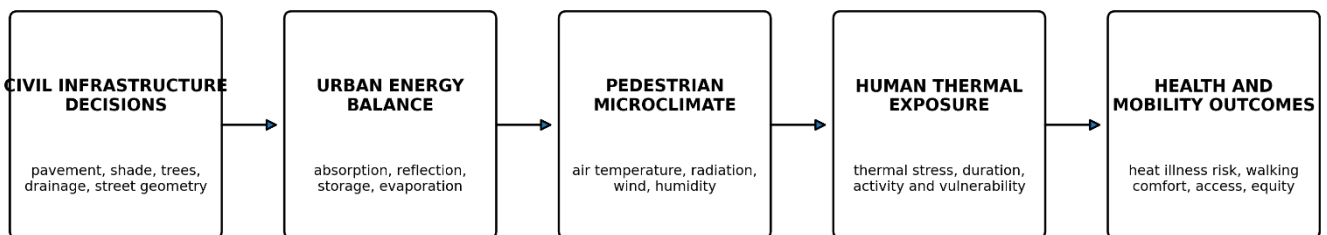


Figure 1. Health-relevant pathway linking civil infrastructure decisions to pedestrian thermal exposure and health-related outcomes. Source: Authors' original synthesis.

Why surface temperature alone is an insufficient design criterion

The thermal state of an urban surface is governed by a balance among absorbed shortwave radiation, longwave exchange, sensible heat transfer, latent heat transfer, heat conduction, and thermal storage. A simplified surface energy balance can be written as Equation (1):

$$(1 - \alpha)K_{\downarrow} + L_{\downarrow} - \varepsilon\sigma T_s^4 = H + LE + G + \Delta S \quad (1)$$

where α is surface albedo; $K_{\downarrow}$ is incoming shortwave solar radiation; $L_{\downarrow}$ is incoming longwave radiation; ε is longwave emissivity; σ is the Stefan-Boltzmann constant; T_s is absolute surface temperature; H is sensible heat flux; LE is latent heat flux associated with evaporation; G is conductive heat flux into the pavement; and ΔS represents change in stored energy. The equation shows why different heat-mitigation strategies act through different physical pathways. Reflective pavements increase α , permeable or wetted surfaces can increase LE , low-heat-storage systems alter G and ΔS , while shade reduces the shortwave energy arriving at the pavement and at the pedestrian simultaneously.

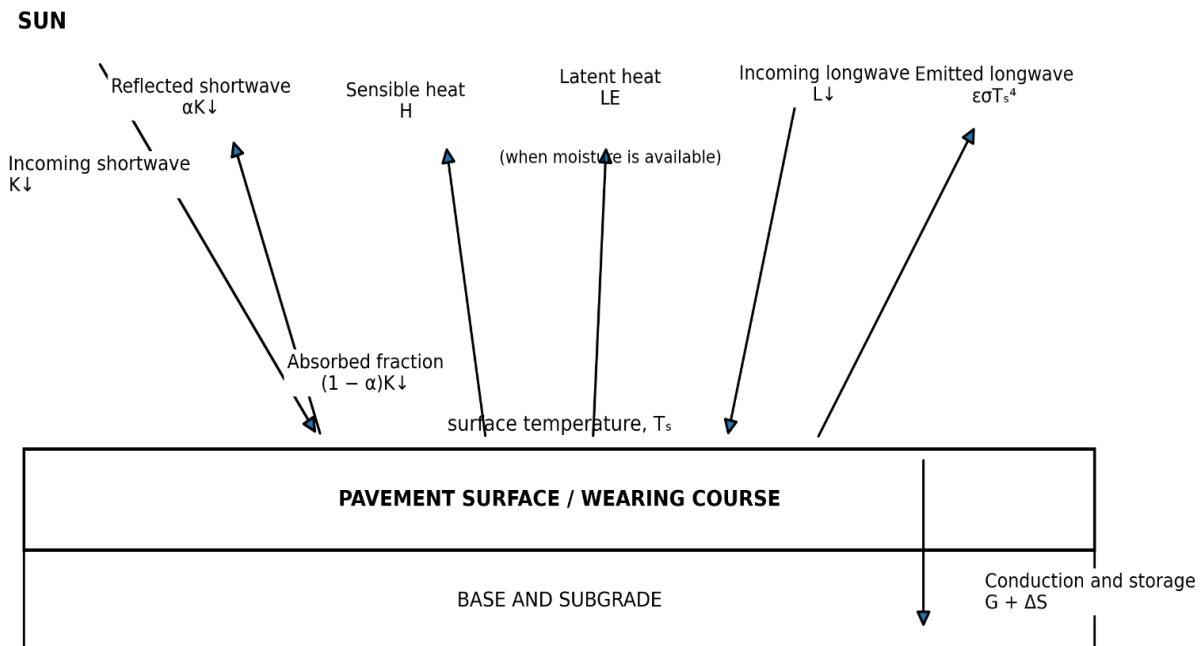


Figure 2. Simplified pavement surface energy balance relevant to urban heat mitigation. Source: Authors' original diagram based on established surface-energy principles.

For human exposure, however, the pavement energy balance is only the first link in the chain. A pedestrian exchanges heat with the surrounding environment through radiation, convection, evaporation, and conduction. In a sunny street, radiation can dominate the difference between an exposed and a shaded location even when air temperature is similar. This is why radiation-sensitive metrics such as mean radiant temperature and the Universal Thermal Climate Index are often more informative than surface temperature alone for pedestrian-level assessment. A civil engineering intervention should therefore be considered successful only when it improves the exposure variable that is relevant to the intended user and occupancy pattern.

Table 1. Civil-engineering heat-mitigation interventions, dominant mechanisms, and principal health-relevant trade-offs.

Intervention	Primary physical mechanism	Potential pedestrian benefit	Main engineering or health trade-off
Reflective pavement	Higher solar reflectance; lower absorbed shortwave energy	Lower pavement and subsurface temperature; possible small air-temperature benefit	Reflected shortwave radiation can increase daytime radiant load and glare; performance changes with aging and soiling.
Permeable/evaporative pavement	Moisture storage and evaporation increase latent heat flux	Lower surface temperature when moisture is available; stormwater co-benefits	Cooling diminishes when dry; clogging, structural design, water availability, and maintenance are critical.
Tree canopy	Direct shade plus evapotranspiration	Reduced solar exposure, lower mean radiant temperature, local cooling, stormwater and air-quality co-benefits	Water demand, rooting volume, species suitability, conflicts with utilities, maintenance, and drought stress.

Intervention	Primary physical mechanism	Potential pedestrian benefit	Main engineering or health trade-off
Structural shade	Direct interception of solar radiation	Immediate and predictable reduction of direct solar load at occupied locations	Capital cost, wind loads, clearances, lighting, security, maintenance, and possible obstruction of ventilation.
Blue-green infrastructure	Evaporation, evapotranspiration, infiltration, and shading	Combined heat and stormwater benefits; improved public-space quality	Water quality, mosquito control where relevant, safety, maintenance, and climate-dependent water balance.
Urban geometry and orientation	Controls solar access, shade duration, wind and sky view	Can reduce exposure along entire routes without relying on a single material	Locked in early in planning; excessive enclosure can reduce ventilation or worsen nighttime heat release.

Reflective pavements: useful surface cooling with a pedestrian radiation trade-off

Reflective pavements are among the most frequently discussed civil-engineering responses to urban heat because their mechanism is direct and measurable. Increasing solar reflectance decreases absorbed shortwave energy, which generally reduces daytime surface temperature and heat storage. This can benefit pavement thermal conditions and can reduce the heat released to the atmosphere later in the day. Nevertheless, the reflected component of solar energy does not disappear; its destination changes. In unshaded pedestrian environments, part of that radiation can be absorbed by the human body or adjacent surfaces.

Elmagri et al. (2024) evaluated cool pavements in an outdoor urban setting and reported lower pavement surface temperatures but higher daytime mean radiant temperature over the more reflective surface. Their measurements showed the essential design conflict: a material can satisfy a surface-cooling objective while worsening a radiation-sensitive pedestrian metric. The result is consistent with the physical mechanism in Equation (1), because increasing albedo reduces absorbed energy at the pavement while increasing reflected shortwave radiation into the surrounding radiant field.

The 2026 Phoenix field assessment by King et al. provides especially useful engineering evidence because it combined surface, subsurface, air-temperature, and pedestrian-radiation measurements. Reflective pavement reduced surface temperature by an average of approximately 3.0 °C relative to asphalt and produced summer subsurface temperature reductions of approximately 3–4 °C at 7.6 cm depth. Near-surface air-temperature differences were much smaller, generally only a few tenths of a degree. At the same time, midday mean radiant temperature was approximately 2.4–3.0 °C higher over the reflective pavement. The study therefore demonstrates that structural or material benefits can coexist with increased pedestrian radiant exposure (King et al., 2026).

These findings do not imply that reflective pavement should be rejected. They imply that its application must be context-specific. Reflective treatment can be attractive for low-pedestrian-occupancy carriageways, parking or service areas, roofs, or locations where radiant reflection is intercepted by shade rather than by people. It may also have pavement-performance benefits that justify use. In high-footfall sidewalks, transit stops, school approaches, outdoor work areas, and plazas, however, reflected radiation must be explicitly assessed. Pairing a reflective pavement with effective shade may retain surface-cooling benefits while controlling pedestrian

shortwave exposure, but this should be verified through site-specific measurement or simulation rather than assumed.

Permeable and evaporative pavements: coupling heat mitigation with stormwater management

Permeable pavements can contribute to heat mitigation through a mechanism fundamentally different from high-albedo materials. When water is stored within or below a permeable pavement and remains available near the surface, evaporation diverts part of the available energy into latent heat rather than sensible heating. This can reduce surface temperature and can complement stormwater-management objectives. The approach is particularly attractive where civil engineers are already required to manage runoff, reduce peak discharge, or support infiltration.

Recent outdoor experiments by Zhao et al. (2026) compared permeable pavement and impervious concrete in street-canyon conditions and showed that pavement moisture and shading materially affect cooling performance. Their work reported reduced duration of extreme thermal stress under the tested permeable-pavement condition, while also demonstrating that building shade changes the surface-energy balance and therefore the apparent benefit of the material. This is important for design because permeable pavement should not be specified from open-site laboratory performance alone. The hydrological state of the pavement and the solar exposure of the actual street must be part of the thermal assessment. For hot-dry cities, evaporative pavement presents both opportunity and constraint. Evaporation can be powerful when water is available, but a heat-mitigation strategy that relies on frequent potable-water application may be difficult to justify in a water-stressed region. A more defensible approach is to link permeable pavement to stormwater capture, non-potable water, subsurface storage, or carefully designed irrigation systems where water quality and public-health requirements are met. The engineering design must also account for clogging, infiltration capacity, base saturation, load-bearing performance, moisture-related durability, and maintenance access. In other words, thermal benefit should be added to the pavement design criteria rather than substituted for hydraulic and structural performance.

Tree canopy and green infrastructure: direct control of solar exposure

The strongest recurring message in recent pedestrian-heat literature is the importance of shade. Tree canopy changes the pedestrian environment through two linked mechanisms: interception of direct and diffuse shortwave radiation and evapotranspiration. The first mechanism is immediate and does not require a large change in air temperature to improve human thermal exposure. The second depends on water availability, stomatal behavior, leaf area, and atmospheric demand. This combination explains why tree cooling varies across climates and why species and urban morphology cannot be separated from thermal performance.

Li et al. (2024) synthesized 182 studies covering 110 cities or regions and 17 climate classes. Their meta-analysis demonstrated wide variation in tree cooling efficacy and showed that background climate, urban morphology, and tree traits jointly determine performance. The synthesis also found strong potential in hot and dry climates, where high solar irradiance makes radiation blockage valuable and atmospheric conditions can support transpirational cooling when trees have adequate water. Importantly, the authors also identified cases of reduced cooling or warming, illustrating that trees are infrastructure requiring context-specific design rather than a universal fixed-effect solution.

Field evidence provides a complementary perspective. Ettinger et al. (2024) measured summer air temperatures along sidewalks in Tacoma and found that the probability of exceeding a

regulated high-temperature threshold was up to five times greater at locations with no canopy within 10 m than at locations with complete nearby canopy. Air temperature decreased with increasing canopy cover. Although the climate and regulatory threshold are specific to that study, the engineering implication is general: canopy close to the pedestrian path can meaningfully change exposure conditions and should be treated as functional infrastructure rather than decorative landscaping.

A health-informed tree strategy must therefore move beyond a target number of trees. Civil design should address continuous canopy over pedestrian desire lines, effective shade during the critical time of day, mature canopy dimensions, rootable soil volume, drainage and irrigation, protection from vehicle impact, utility conflicts, accessible footway width, pavement heave risk, and long-term maintenance. In water-limited environments, species selection and irrigation design must be coordinated so that heat mitigation does not create an unsustainable water demand. Stormwater harvesting and soil-moisture retention can help connect drainage and heat-adaptation objectives.

Structural shade and urban geometry: immediate radiation control without irrigation demand

Where tree establishment is slow, rooting space is unavailable, or water supply is severely constrained, structural shade can provide immediate solar control. Canopies, arcades, shelters, tensile structures, building projections, and carefully oriented street geometry can intercept solar radiation before it reaches pedestrians or pavement. For transit stops, school entrances, outdoor queues, pedestrian crossings, work areas, and other predictable occupancy locations, this direct control can be more reliable than attempting to reduce air temperature across a large urban volume.

Recent large-scale analysis by Gu and Zhang (2025) distinguished green and grey sources of shade and found that both can reduce perceived pedestrian heat exposure, reinforcing the value of shade as a design variable rather than a landscape afterthought. From a civil-engineering perspective, grey shade also introduces conventional structural requirements: wind resistance, foundations, drainage, clearances, corrosion protection, lighting, accessibility, collision risk, and inspection. The design should also avoid creating stagnant zones where shade blocks solar radiation but unnecessarily suppresses ventilation.

Urban geometry extends the same principle to district scale. Street orientation, aspect ratio, building setbacks, and the continuity of arcades or tree lines determine when and where solar exposure occurs. These variables also affect wind and nighttime longwave exchange. Consequently, the best geometry depends on climate and occupancy. A street section optimized only for midday summer shade may have undesirable effects on winter comfort, ventilation, daylight, or nighttime heat release. Health-informed design therefore requires time-dependent analysis rather than a single noon snapshot.

Table 2. Representative recent evidence used to derive the design framework.

Source	Study type / setting	Reported evidence relevant to design	Interpretation for civil engineering
Elmagri et al. (2024)	Outdoor assessment of cool pavements	Cool pavement lowered surface temperature, while midday mean radiant temperature over the reflective surface was higher than over conventional pavement.	Surface cooling should not be used as a stand-alone proxy for pedestrian thermal benefit.

Source	Study type / setting	Reported evidence relevant to design	Interpretation for civil engineering
Ettinger et al. (2024)	Sidewalk field measurements, Tacoma, USA	Locations without nearby canopy were up to five times more likely to exceed the study high-temperature threshold than locations with complete nearby canopy.	Local canopy close to pedestrian routes can materially reduce high-heat exposure.
Li et al. (2024)	Meta-analysis of 182 studies across 110 cities/regions	Tree cooling efficacy varied strongly with climate, urban morphology, and tree traits; large radiation-blocking benefits were reported.	Tree specifications must be climate- and geometry-specific and integrated with water and maintenance planning.
Gu & Zhang (2025)	Large-scale analysis of green and grey shade	Both vegetation and built shade reduced perceived pedestrian heat exposure, with benefit related to shading coverage.	Shade coverage and continuity are valid engineering performance variables.
King et al. (2026)	Multi-domain field assessment, Phoenix, USA	Reflective pavement averaged about 3.0 °C lower surface temperature but 2.4–3.0 °C higher midday mean radiant temperature; air-temperature changes were modest.	Material thermal performance and pedestrian radiant exposure can move in opposite directions.
Zhao et al. (2026)	Outdoor street-canyon experiments	Permeable pavement altered surface thermal conditions and reduced extreme heat-stress duration under tested conditions; shade modified performance.	Thermal design of permeable pavement must include moisture state and actual canyon shading.

Health evidence and the role of civil infrastructure

The health rationale for infrastructure-based heat mitigation does not require the claim that a particular pavement directly prevents a specific number of deaths. Such a claim would exceed the evidence for most civil-engineering interventions. The more defensible causal chain is that infrastructure modifies microclimate; microclimate modifies exposure; exposure interacts with vulnerability, activity, hydration, clothing, acclimatization, and access to cooling; and these factors influence health risk. Figure 1 represents this chain explicitly.

Population studies support the broader value of greenness and urban configuration for health. Giannico et al. (2024), using a national health-impact-assessment framework for Italy, estimated substantial potential mortality benefits under a counterfactual increase in residential greenness. The study also emphasized limitations in exposure measurement, green-space quality, accessibility, and assumptions used in health-impact functions. These limitations are directly relevant to civil engineers: a satellite-derived greenness index does not specify whether shade falls on a sidewalk at 14:00, whether a route is accessible to an older adult, whether trees are irrigated during drought, or whether a green area is safe and usable. Infrastructure planning therefore needs spatially and temporally resolved exposure measures that can connect physical design with health analysis.

The health-informed approach proposed here does not replace public-health measures such as heat-warning systems, occupational controls, healthcare preparedness, access to drinking water,

or cooling centers. Instead, it addresses the physical environment in which exposure occurs. Its value is that infrastructure acts continuously over the service life of an asset and can reduce exposure before an individual must make a behavioral or medical response.

A health-informed civil engineering design framework

The evidence supports six linked design steps. The sequence is intentionally broader than material selection because heat protection can fail when an intervention is optimized at only one physical scale.

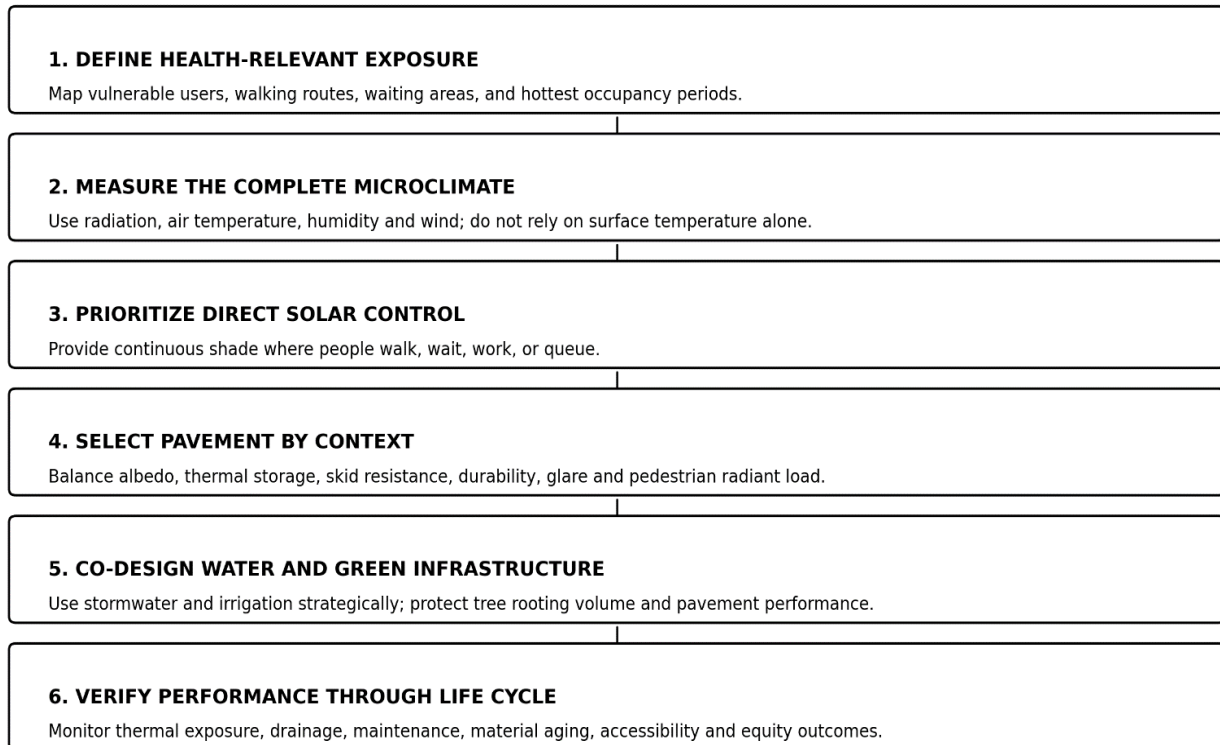


Figure 3. Six-step health-informed civil engineering sequence for urban heat mitigation. Source: Authors' original synthesis.

First, define the actual exposure problem. The design team should identify where people walk, wait, work, exercise, queue, transfer between transport modes, or access essential services. Vulnerable users and critical time periods should be considered explicitly. A pavement in an empty service yard has a different health objective from the pavement beneath an unsheltered bus queue.

Second, measure or model the complete pedestrian microclimate. At minimum, field assessment should include air temperature, relative humidity, wind speed, shortwave and longwave radiation or a defensible mean-radiant-temperature measurement, surface temperature, and time of exposure. Surface thermal imagery is useful, but it should not substitute for radiation-aware measurements when the objective is pedestrian health.

Third, prioritize direct solar control where occupancy is high. Continuous shade along a walking route is generally more valuable than isolated shaded points if the health objective is to reduce cumulative exposure. Design should consider solar angle and time of use rather than only percentage plan-area shade.

Fourth, select pavement by context. Albedo, emissivity, permeability, thermal conductivity, heat capacity, texture, skid resistance, glare, structural capacity, maintenance, and aging should

be evaluated together. A reflective surface may be appropriate under a canopy, while an unshaded high-footfall location may require a different balance. Permeable pavement may be advantageous where runoff can recharge moisture without compromising pavement structure. Fifth, co-design water, vegetation, and drainage. Tree cooling, permeable pavement, and stormwater management can reinforce each other when water is captured and directed to adequate soil volume. Conversely, poorly coordinated systems can cause root damage, pavement deformation, chronic saturation, utility conflicts, or irrigation dependence. Civil and landscape specifications should therefore be developed as one system.

Sixth, verify performance over the asset life cycle. Reflective coatings soil and wear; pavement pores clog; trees grow or fail; canopies change; irrigation systems degrade; and pedestrian patterns shift. Post-construction monitoring should include thermal exposure, hydraulic performance, structural condition, maintenance demand, accessibility, and user distribution. This converts urban heat adaptation from a one-time installation into performance-based infrastructure management.

Table 3. Qualitative screening matrix for early-stage selection of urban heat interventions in hot-dry cities.

Criterion	Reflective pavement	Permeable / evaporative pavement	Tree canopy	Structural shade
Direct daytime solar protection for pedestrians	Low unless combined with shade	Low to moderate	High	High
Pavement surface cooling	High when clean and solar-exposed	Moderate to high when moisture is available	Moderate to high in shaded footprint	High in shaded footprint
Water demand for thermal function	None	Moderate to high unless supplied by stormwater/non-potable source	Low to high depending on species, establishment, and climate	None
Stormwater co-benefit	Low	High	Moderate to high when integrated with soil cells/bioretention	Low
Risk of increasing pedestrian reflected shortwave load	High in unshaded conditions	Generally low to moderate; material dependent	Low	Low
Time to full thermal function	Immediate	Immediate if wet and hydraulically functional	Delayed until canopy develops	Immediate
Key maintenance issue	Soiling, wear, recoating, skid/glare checks	Clogging, moisture supply, structural/hydraulic condition	Irrigation, pruning, root-zone health, replacement	Inspection, corrosion, drainage, structural condition

The ratings in Table 3 are qualitative screening judgments derived from the reviewed mechanisms and are not universal performance scores. They should be replaced by project-specific measurements, simulations, costs, and life-cycle criteria before design selection.

Implications for hot-dry and water-constrained cities

Hot-dry cities present an unusual combination of very high solar radiation, low cloud cover, strong daytime heat, and often limited water resources. These conditions increase the value of direct shade but complicate strategies that depend on sustained evaporation. They also make radiant heat particularly important. A design that only reports pavement surface temperature can therefore be misleading precisely in the climates where adaptation is most urgent.

For cities such as those in Southern Africa, the first priority on heavily used pedestrian corridors should be to quantify solar exposure and shade continuity. Structural shade can provide rapid protection at transit stops, schools, clinics, markets, university campuses, and public-service queues. Trees can then provide longer-term shade and co-benefits where soil, irrigation, and maintenance can support them. Pavement selection should follow this exposure analysis rather than precede it. Reflective treatments can be reserved for locations where pedestrian radiant load is controlled or low, and permeable systems can be coupled to stormwater capture where rainfall patterns and water quality make this practical.

The approach also has an equity dimension. Heat exposure is not evenly distributed because people differ in transport mode, occupation, age, health status, housing quality, and access to private cooling. Civil infrastructure can either reinforce or reduce this disparity. A 2026 comparative analysis of pedestrian-accessible shade across nine cities found substantial within-city variation and a recurring tendency for lower-income and peripheral neighborhoods to receive less sidewalk shade (Gu et al., 2026). Shade concentrated only in premium developments therefore does little for people waiting for public transport or walking to essential services. A health-informed prioritization method should direct investment first to high-exposure routes with high pedestrian use, high vulnerability, and limited alternatives for cooling.

Recommended field variables for future civil-engineering trials

Future experimental studies should be designed so that thermal, structural, hydraulic, and human-exposure performance can be interpreted together. Table 4 summarizes a minimum measurement set that can support this objective without requiring clinical experimentation.

Table 4. Recommended minimum variables for field evaluation of heat-mitigation infrastructure.

Domain	Core variables	Reason for inclusion
Meteorological	Air temperature, relative humidity, wind speed/direction, incoming solar radiation	Defines boundary conditions and allows comparison among test periods.
Radiant environment	Mean radiant temperature or validated shortwave/longwave radiation measurements	Captures the principal pathway by which shade and reflective surfaces alter pedestrian heat load.
Surface and pavement	Surface temperature, albedo/reflectance, emissivity where relevant, subsurface temperature	Quantifies material response and thermal storage.
Hydraulic	Moisture state, infiltration rate, storage/drainage behavior, irrigation or water input	Essential for interpreting permeable pavement and vegetation cooling.

Domain	Core variables	Reason for inclusion
Asset performance	Skid resistance, roughness, distress, clogging, coating wear, root-pavement interaction	Ensures thermal benefit does not obscure safety or serviceability failure.
Exposure and use	Time-resolved shade coverage, pedestrian counts, route occupancy, dwell time	Connects microclimate performance to actual human exposure.
Equity/accessibility	Accessible-route continuity, transit waiting locations, vulnerable-user exposure zones	Supports prioritization of health benefit where exposure is highest.

Limitations and research priorities

The principal limitation of this review is heterogeneity in the evidence. The included studies were conducted in different climates and urban forms and used different sensors, thermal indices, experimental durations, and intervention designs. Consequently, this paper does not present a pooled numerical effect for any intervention. The qualitative screening matrix is a decision aid, not a substitute for site-specific analysis.

A second limitation is the incomplete translation between microclimate metrics and clinical health outcomes. Mean radiant temperature, UTCI, PET, surface temperature, and air temperature are useful exposure indicators, but they do not by themselves diagnose heat illness or quantify mortality. Future interdisciplinary studies should combine engineering-grade microclimate monitoring with ethical, appropriately approved public-health study designs where direct health outcomes are required. Until such evidence is available, civil engineers should avoid claiming a specific medical benefit from a material solely on the basis of surface cooling.

Several research priorities follow. First, more field comparisons are needed in hot-dry African cities, where high solar loads, water scarcity, informal travel patterns, and infrastructure maintenance constraints differ from many well-studied European, North American, and East Asian settings. Second, pavement studies should report radiant exposure and not only surface temperature. Third, long-term studies should quantify how aging, dust, tire wear, clogging, and maintenance change thermal performance. Fourth, tree trials should report irrigation, soil volume, canopy geometry, species, survival, and drought condition so that cooling benefits can be evaluated together with water demand. Finally, integrated trials should compare packages of shade, pavement, drainage, and vegetation because real streets are systems rather than isolated materials.

CONCLUSION

Urban heat mitigation should be treated as a health-relevant civil engineering performance problem rather than a surface-temperature competition among materials. The reviewed evidence demonstrates that reflective pavements can provide meaningful surface and subsurface cooling while simultaneously increasing daytime pedestrian radiant load. Permeable pavements can add evaporative cooling and stormwater benefits when moisture is available, but performance depends on hydraulic state, shading, and maintenance. Tree canopy and structural shade act more directly on pedestrian solar exposure and are therefore central to health-oriented design, although trees require climate-appropriate species selection, water, rooting space, and long-term maintenance.

The principal design implication is that no single intervention is universally superior. Engineers should begin with the user and exposure pattern, measure the complete microclimate, prioritize shade at high-occupancy locations, select pavement in context, integrate water and green infrastructure, and verify performance throughout the asset life cycle. For hot-dry and water-constrained cities, this sequence favors strategic shade, water-efficient green infrastructure, and careful use of reflective or evaporative pavements rather than blanket application of any one technology. The resulting approach aligns civil infrastructure performance with public-health protection while retaining the structural, hydraulic, safety, durability, and maintenance criteria required for responsible engineering practice.

REFERENCES

- Amani, M. J., Tanzadeh, R., Moghadas Nejad, F., Kabiri Nasrabad, M. M., Chalabii, J., & Movahedi Rad, M. (2025). Urban sustainability through pavement technologies: Reducing urban heat islands with cool pavements. *Buildings*, 15(3), 504. <https://doi.org/10.3390/buildings15030504>
- Elmagri, H., Kamel, T. M., & Ozer, H. (2024). Assessment of the effectiveness of cool pavements on outdoor thermal environment in urban areas. *Building and Environment*, 266, 112095. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112095>
- Ettinger, A. K., Bratman, G. N., Carey, M., Hebert, R., Hill, O., Kett, H., Levin, P., Murphy-Williams, M., & Wyse, L. (2024). Street trees provide an opportunity to mitigate urban heat and reduce risk of high heat exposure. *Scientific Reports*, 14, 3266. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51921-y>
- Giannico, O. V., Sardone, R., Bisceglia, L., Addabbo, F., Pirotti, F., Minerba, S., & Mincuzzi, A. (2024). The mortality impacts of greening Italy. *Nature Communications*, 15, 10452. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54388-7>
- Gu, X., Beuster, L., Liu, X., van Leeuwen, E., Venverloo, T., & Duarte, F. (2026). Global patterns of inequality in pedestrian shade provision. *Nature Communications*, 17, 2563. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-69190-w>
- Gu, X., & Zhang, J. (2025). Green and grey cooling: Mitigating pedestrians perceived temperature via urban shades. *Building and Environment*, 285, 113585. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113585>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, H. Lee, & J. Romero, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Kabisch, N., Remahne, F., Ilsemann, C., & Fricke, L. (2023). The urban heat island under extreme heat conditions: A case study of Hannover, Germany. *Scientific Reports*, 13, 23017. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49058-5>
- King, P., Vanos, J., Van Tol, Z., Medina Campillo, J. R., & Middel, A. (2026). Beyond surface cooling: Comprehensive field assessment of reflective pavement thermal performance in Phoenix, Arizona. *Building and Environment*, 294, 114373. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2026.114373>
- Li, H., Zhao, Y., Wang, C., Ürge-Vorsatz, D., Carmeliet, J., & Bardhan, R. (2024). Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait. *Communications Earth & Environment*, 5, 754. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01908-4>

World Health Organization. (2026, April 28). Heat and health. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>

Zhao, J., Fan, Y., Lu, J., Luo, X., & Ge, J. (2026). Evaluating permeable pavements' impact on the thermal environment in street canyons through outdoor experiments under hot and humid background climate. *Building and Environment*, 288, 113948. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113948>

IN SILICO CHARACTERIZATION OF HYPOTHETICAL PROTEINS OF *WUCHERERIA BANCROFTI*

Waqar Ahmed

Nabiha Naeem

University of Management and Technology, UMT, Lahore, Pakistan

The neglected tropical disease Lymphatic filariasis (LF) results primarily from an infection by *Wuchereria bancrofti*, affects over 120 million individuals worldwide. Despite extensive research, no effective vaccines exist, and current treatments primarily target microfilariae rather than adult parasites. Hypothetical proteins (HPs), identified through genomic sequencing but lacking characterized function and structure, represent a promising avenue for drug and vaccine development. This study employs in silico approaches to characterize HPs of this protein, aiming to elucidate their structural and functional properties. A total of 15 HPs were selected from the NCBI GenBank database, with their sequences retrieved and analyzed through computational tools. Physiochemical properties were evaluated via ProtParam, indicating stability, hydrophobicity, and isoelectric points. Secondary structure prediction through PredictProtein, PSIPRED, and GOR IV demonstrated varying proportions of alpha-helices, beta-strands, and coils, suggesting functional diversity among HPs. Three-dimensional structures were modeled using I-TASSER, with validation conducted through SAVES v5.0, including PROCHECK, ERRAT, and Verify3D. Protein-protein interaction (PPI) networks were constructed using STRING, highlighting potential roles in metabolic and immune evasion pathways.

These findings provide crucial insights into the functional landscape of this HP, supporting their potential as novel targets for drug and vaccine development. The integration of computational and experimental approaches in future research will further validate these proteins, facilitating advancements in LF treatment strategies.

THE INFLUENCE OF POVERTY ON THE DEVELOPMENT OF CRIMINALITY

PhD Roxana Mihaela Moisoiu
U.S.P.E.E. „C. Stere” Chişinău, Moldova
ID orcid 0009-0005-0515-0432
Prof Colegiul German Goethe
Bucureşti
România

UDC - 004.8:343.98:34

DOI: urmează a fi atribuit

JEL 14

Abstract

Poverty represents one of the most significant socioeconomic challenges of contemporary society and may contribute, under certain social and institutional conditions, to the development and diversification of criminality. Although poverty cannot be regarded as a direct or inevitable cause of criminal behavior, persistent economic deprivation may increase individual and community vulnerability when associated with unemployment, limited access to education, social exclusion, inequality, marginalization, and reduced access to legitimate opportunities.

This paper examines the influence of poverty on the development of contemporary criminality from a multidisciplinary perspective, integrating criminological, sociological, economic, legal, and security approaches. The study focuses on the mechanisms through which economic insecurity and social disadvantage may contribute to the emergence of criminogenic environments and increase exposure to both traditional and emerging forms of criminal activity.

Particular attention is given to the relationship between poverty, unemployment, educational disadvantage, and social exclusion, as well as to the vulnerability of individuals and communities affected by persistent deprivation. The paper also explores the impact of globalization and digitalization on this relationship, considering the emergence of new forms of exploitation, fraud, cybercrime, and criminal recruitment that may disproportionately affect economically vulnerable populations.

The analysis emphasizes that poverty should not be equated with criminality. Most individuals living in poverty do not engage in criminal behavior. Rather, poverty represents a potential risk factor whose effects depend on the interaction with broader social, economic, cultural, and institutional conditions.

The paper argues that effective crime prevention requires more than criminal sanctions. Reducing poverty, improving access to education and employment, strengthening social protection, promoting social inclusion, and developing community-based prevention programs are essential components of a sustainable strategy for reducing criminogenic vulnerabilities. From this perspective, combating poverty should be regarded not only as a social and economic objective but also as an important component of public security, human security, and social stability.

Keywords: poverty, criminality, crime development, criminogenic factors, unemployment, social exclusion, inequality, vulnerability, crime prevention, security.

The relationship between poverty and criminality has attracted considerable attention in criminological and social research. Throughout modern history, researchers have attempted to explain why certain individuals and communities experience significantly higher levels of criminality than others. Economic deprivation, unequal access to resources, unemployment, educational exclusion and social marginalization have frequently been identified among the structural conditions associated with increased vulnerability to crime.

Poverty is not merely a lack of financial resources. Contemporary approaches understand poverty as a multidimensional phenomenon involving limited access to education, healthcare, employment, housing, social participation and opportunities for personal development. From this perspective, poverty can generate a complex environment in which individuals may experience social exclusion and reduced access to legitimate means of achieving socially valued objectives.

The analysis of poverty as a criminogenic factor must nevertheless avoid simplistic causal explanations. The majority of individuals living in poverty do not engage in criminal behavior. Consequently, poverty should be understood as a risk factor rather than a deterministic cause of criminality. Criminal behavior results from the interaction of individual, social, economic, cultural and institutional factors.

The central objective of this article is to examine the mechanisms through which poverty may influence the development of criminality and to identify effective measures for reducing the criminogenic consequences of socioeconomic deprivation.

Poverty has traditionally been defined in relation to insufficient income and limited material resources. However, contemporary social research increasingly emphasizes its multidimensional nature.

The distinction between absolute and relative poverty is particularly important. Absolute poverty refers to the inability of individuals to satisfy basic physiological and material needs, whereas relative poverty concerns the individual's position in relation to the general standard of living within a particular society.

Townsend's approach to relative deprivation significantly expanded the understanding of poverty by emphasizing social participation and access to resources necessary for maintaining an acceptable standard of living. In this sense, poverty involves not only material deprivation but also exclusion from activities, institutions and opportunities that are considered normal within a given society.

From a criminological perspective, poverty becomes relevant when deprivation interacts with other risk factors such as unemployment, low educational attainment, family instability, substance abuse, discrimination, social exclusion or weak institutional support.

The criminogenic potential of poverty therefore derives primarily from the social conditions associated with deprivation, rather than from poverty itself.

Several criminological theories contribute to the explanation of the relationship between poverty and criminal behavior.

Robert K. Merton's strain theory represents one of the most influential approaches to explaining the relationship between social structure and deviant behavior. According to Merton, modern societies promote culturally defined goals, such as economic success, social status and material prosperity, while individuals do not always have equal access to legitimate means of achieving these goals.

When individuals experience a significant gap between socially promoted objectives

and the legitimate opportunities available to them, they may experience strain. Under certain circumstances, this strain can contribute to the adoption of illegitimate means.

Poverty is particularly relevant within this theoretical framework because economically disadvantaged individuals may have reduced access to education, stable employment, professional advancement and other legitimate opportunities.

However, strain does not inevitably result in criminality. Individuals respond to structural pressures in different ways, and many people experiencing poverty remain law-abiding.

Social disorganization theory emphasizes the importance of community-level conditions.

Disadvantaged communities may experience residential instability, unemployment, weak institutional structures, inadequate public services and limited community cohesion. Such conditions can weaken informal social control and create environments in which criminal behavior becomes more difficult to prevent.

From this perspective, the relationship between poverty and crime is not exclusively individual but also collective.

Social exclusion provides another important framework for understanding poverty-related criminality.

Individuals who are excluded from education, employment, political participation or social institutions may develop a diminished sense of belonging and reduced trust in institutions. Persistent exclusion can increase vulnerability to deviant groups and informal economies.

Therefore, crime may emerge not simply as a consequence of lacking material resources, but as part of a broader process of social marginalization.

The relationship between poverty and criminality is multidimensional. Several mechanisms can be identified.

Unemployment may increase economic insecurity and psychological stress. Long-term unemployment can also weaken social integration and reduce legitimate opportunities. The absence of stable employment may increase the attractiveness of informal or illegal economic activities, particularly where legitimate opportunities are scarce.

Education represents one of the most important protective factors against criminal involvement.

Individuals who leave school prematurely may face reduced employment opportunities, lower income and increased social vulnerability. Educational exclusion can therefore contribute indirectly to criminality by limiting legitimate pathways to socioeconomic advancement.

Investment in education should consequently be regarded not only as a social policy but also as an important crime-prevention strategy.

Extreme differences in income and living standards may generate perceptions of injustice and relative deprivation. Individuals may compare their socioeconomic situation with that of others and experience frustration when they perceive themselves as excluded from opportunities available to the wider population.

Relative deprivation does not automatically generate criminal behavior, but it can contribute to social tensions when combined with weak social mobility and limited institutional trust.

Poverty can place significant pressure on families. In disadvantaged environments, children may experience inadequate educational support, family instability, domestic violence

or limited access to social services.

These conditions may increase exposure to criminogenic environments and contribute to intergenerational patterns of disadvantage.

Where legitimate economic opportunities are limited, informal economic activities may become increasingly important for disadvantaged communities.

In certain circumstances, these activities may overlap with illegal markets, including trafficking, illicit trade, theft, fraud or other forms of organized criminality.

The existence of illegal economic opportunities may consequently reinforce the relationship between poverty and crime.

The influence of poverty may vary depending on the type of criminal behavior under consideration.

Property crimes are frequently discussed in relation to economic deprivation because individuals experiencing severe financial difficulties may perceive theft, burglary or fraud as alternative sources of income.

However, the relationship is considerably more complex. Certain property crimes are motivated not by absolute poverty but by consumer aspirations, social inequality, opportunity structures or organized criminal networks.

Violent crime can also be associated with disadvantaged environments, particularly where poverty intersects with social disorganization, substance abuse, family instability and weak institutional control.

Juvenile delinquency represents another important area. Children and adolescents living in disadvantaged communities may face increased exposure to criminal peer groups and may have fewer opportunities for constructive social participation.

Therefore, policies directed at reducing juvenile delinquency should address not only criminal behavior itself but also the socioeconomic environment in which young people develop.

The consequences of poverty-related criminality extend beyond individual victims and offenders. A persistent concentration of poverty and criminality can produce broader social and institutional consequences, including: increased pressure on law-enforcement institutions; higher costs for the criminal justice system; reduced public trust; increased social tensions; deterioration of living conditions; expansion of informal and illegal economies; increased vulnerability of disadvantaged communities; reduced social cohesion.

From a national security perspective, socioeconomic instability can create vulnerabilities that may be exploited by organized criminal groups or other actors seeking to undermine institutional stability.

Poverty should therefore be addressed as part of a comprehensive security strategy. National security cannot be reduced to military or law-enforcement capabilities; it also depends upon social resilience, economic stability, institutional legitimacy and the capacity of the state to protect vulnerable populations.

Globalization, technological development, economic crises, armed conflicts and migration have transformed the relationship between poverty and criminality.

Contemporary poverty is increasingly interconnected with global economic processes. Economic shocks may disproportionately affect vulnerable populations, particularly individuals employed in precarious sectors.

Armed conflicts can further intensify poverty through displacement, destruction of infrastructure, unemployment and disruption of public services. Such circumstances may increase exposure to trafficking, exploitation, smuggling and other forms of organized

criminality.

At the same time, technological development has created new opportunities for criminal activity. Individuals and groups involved in illicit economies can use digital platforms, encrypted communication and online financial systems to facilitate criminal activities.

Consequently, contemporary crime prevention requires an integrated approach combining socioeconomic policies, digital security, education and effective criminal justice institutions.

The present study adopts an interdisciplinary qualitative approach based on the analysis of criminological, sociological, economic and legal literature.

The research methodology includes: documentary analysis of scientific literature concerning poverty and criminality; comparative analysis of theoretical approaches to socioeconomic deprivation; criminological analysis of the mechanisms connecting poverty with criminal behavior; socio-legal analysis of the role of criminal justice and social policies; security analysis concerning the broader implications of poverty-related criminality.

The proposed conceptual framework assumes that criminality is influenced by multiple interacting variables. Poverty represents one of these variables and should therefore be analyzed together with unemployment, education, inequality, family structure, social exclusion and institutional capacity.

A simplified analytical model can be expressed as: $CRIME = f(POVERTY, UNEMPLOYMENT, EDUCATION, INEQUALITY, SOCIAL EXCLUSION, INSTITUTIONAL FACTORS)$

This model emphasizes that poverty should not be treated as an isolated determinant of criminal behavior.

Effective prevention requires policies that address both the causes and consequences of socioeconomic deprivation.

Educational policies should prioritize children from disadvantaged communities. Preventing school dropout, providing educational support and developing vocational skills can increase legitimate opportunities and reduce vulnerability to criminal networks.

Access to stable employment represents a central element of social integration. Public policies should encourage employment opportunities for vulnerable groups, professional training and reintegration into the labor market.

Social inclusion policies should address housing, healthcare, education, social protection and community development.

The objective should not merely be to reduce material deprivation but to increase individuals' capacity to participate fully in society.

Crime prevention should involve local communities, schools, social services, police institutions and civil society organizations. Community-based interventions can strengthen informal social control and increase trust between citizens and public institutions.

Criminal justice responses should remain consistent with the principle of individual responsibility.

Poverty cannot justify criminal behavior. Nevertheless, socioeconomic circumstances may be relevant to sentencing, rehabilitation and social reintegration where permitted by law. Alternative sanctions, restorative justice and reintegration programs may be particularly relevant for certain categories of offenders, provided that they are applied according to legal requirements and public safety considerations.

The analysis demonstrates that poverty and criminality are connected through a complex

network of socioeconomic and institutional mechanisms.

The central argument is not that poverty automatically produces crime, but that persistent deprivation can increase exposure to conditions that facilitate criminal behavior.

The relationship is particularly significant when poverty is combined with unemployment, poor educational outcomes, social exclusion, weak community cohesion and limited institutional capacity.

Consequently, crime prevention cannot rely exclusively on policing and punishment. Although criminal justice institutions remain essential, long-term crime reduction requires addressing the structural conditions that increase vulnerability to criminal involvement.

An integrated policy approach should therefore combine criminal justice measures with education, employment, social protection and community development.

Conclusions

Poverty represents an important socioeconomic risk factor in the development of criminality, although it cannot be regarded as a direct or deterministic cause of crime.

The influence of poverty becomes particularly significant when economic deprivation interacts with unemployment, educational exclusion, social inequality, family vulnerability and community disorganization.

The study emphasizes several principal conclusions.

First, poverty should be understood as a multidimensional phenomenon extending beyond insufficient income.

Second, the relationship between poverty and criminality is mediated by multiple social and institutional factors.

Third, disadvantaged communities may experience higher levels of vulnerability when social control mechanisms and institutional resources are weak.

Fourth, poverty-related criminality can generate consequences that extend beyond individual victims and offenders, affecting public trust, social cohesion and institutional stability.

Finally, effective prevention requires an integrated strategy combining criminal justice policies with socioeconomic interventions. Education, employment, social inclusion and community development should be regarded as essential components of contemporary crime prevention.

The reduction of poverty should therefore be viewed not only as an economic and social objective but also as an important component of public safety and national security policy.

Proposed research hypothesis

H1: Higher levels of poverty are associated with increased levels of criminality, particularly when poverty is accompanied by unemployment, educational exclusion and social inequality.

H2: The relationship between poverty and criminality is mediated by social exclusion and reduced access to legitimate socioeconomic opportunities.

H3: Integrated socioeconomic and crime-prevention policies can reduce the criminogenic effects associated with persistent poverty.

The analysis of the relationship between poverty and criminality supports the general assumption that socioeconomic deprivation constitutes an important criminogenic factor, particularly when it is accompanied by unemployment, limited access to education, social exclusion and significant inequalities. Poverty should not, however, be understood as a direct or exclusive cause of criminal behaviour. Rather, its criminogenic potential depends on the interaction between economic vulnerability and a broader range of social, institutional and

individual factors.

Hypothesis H1—that higher levels of poverty are associated with increased levels of criminality, particularly when poverty is accompanied by unemployment, educational exclusion and social inequality—is supported. The available theoretical and empirical evidence indicates that persistent poverty can intensify social vulnerability and reduce individuals' legitimate opportunities for economic and social integration. Unemployment, low educational attainment and inequality may reinforce this relationship by creating conditions in which frustration, deprivation and marginalisation become more pronounced. Consequently, communities characterized by cumulative socioeconomic disadvantages may present a higher exposure to certain forms of criminality.

Hypothesis H2—that the relationship between poverty and criminality is mediated by social exclusion and reduced access to legitimate socioeconomic opportunities—is also supported. The relationship between poverty and crime cannot be adequately explained solely through income deprivation. Social exclusion, restricted access to employment, education, healthcare, housing and other essential services may increase vulnerability to criminal environments and weaken attachment to legitimate social institutions. In this context, criminality may emerge not simply as a consequence of material deprivation, but as a manifestation of structural disadvantage and limited opportunities for lawful social participation.

Hypothesis H3—that integrated socioeconomic and crime-prevention policies can reduce the criminogenic effects associated with persistent poverty—is supported at the theoretical and policy level. Effective crime prevention requires more than criminal-law intervention. Measures aimed at employment creation, improving educational access, reducing school dropout, strengthening social protection, combating discrimination and facilitating social inclusion can address some of the structural conditions associated with criminality. Their effectiveness is likely to increase when socioeconomic policies are coordinated with community-based prevention, institutional cooperation, early intervention and appropriate criminal justice measures.

Overall, the hypotheses demonstrate that the poverty–criminality relationship is multidimensional and mediated by social and institutional mechanisms. Poverty should therefore be approached as a significant structural risk factor rather than as an automatic determinant of criminal behaviour. The criminogenic effects of poverty become more pronounced where economic deprivation is combined with unemployment, educational exclusion, inequality, social marginalisation and insufficient access to legitimate opportunities.

From a public policy perspective, the findings support a shift from predominantly reactive approaches toward integrated prevention strategies. Reducing poverty and social exclusion can contribute not only to improving living conditions and protecting fundamental rights, but also to reducing the structural vulnerabilities that may facilitate criminal behaviour. Accordingly, combating poverty should be regarded as both a socioeconomic objective and an important component of contemporary crime-prevention and national-security policies.

The originality of the research consists in approaching poverty not exclusively as an economic phenomenon but as a multidimensional criminogenic risk factor with potential implications for public safety and national security. The proposed approach connects socioeconomic deprivation with criminological theory and contemporary security policy, emphasizing the necessity of integrating social prevention into national crime-prevention strategies

References

- Agnew, R. (1992). Foundation for a general strain theory of crime and delinquency. *Criminology*, 30(1), 47–87
- Becker, G. S. (1968). Crime and punishment: An economic approach. *Journal of Political Economy*, 76(2), 169–217.
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. G. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood.
- Merton, R. K. (1938). Social structure and anomie. *American Sociological Review*, 3(5), 672–682.
- Shaw, C. R., & McKay, H. D. (1942). *Juvenile delinquency and urban areas*. University of Chicago Press.
- Townsend, P. (1979). *Poverty in the United Kingdom: A survey of household resources and standards of living*. University of California Press.
- UNDP. (2024). *Human Development Report 2023/2024*. United Nations Development Programme.
- United Nations Office on Drugs and Crime. (2023). *Global Study on Homicide 2023*. United Nations.

OVERVIEW OF WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT SYSTEM APPLICATIONS IN TOURISM: THEORY AND PRACTICE

Dr. Nguyen Thi Be Ba

School of Political Sciences, Social Sciences & Humanities
Can Tho University (CTU), Vietnam

Nguyen Huynh Kieu Anh

Nguyen Nhut Nam

College of Information and Communications Technology
CTU, Vietnam

Dr. Thai Cong Dan

School of Foreign Languages (SFL), CTU, Vietnam

ORCID No: 0009-0002-9566-8128

Can Tho University, Vietnam

ABSTRACT

This study provides a comprehensive literature review on the application of WordPress Content Management System (CMS) for developing specialized tourism promotion websites, with a specific focus on Cai Rang Floating Market in Can Tho City, Vietnam. The research synthesizes theoretical foundations from information systems, tourism marketing, user experience design, and heritage management to propose a framework for WordPress-based destination websites. The review identifies critical challenges in the current information ecosystem, including fragmented online content, limited digital presence of local service providers, and inconsistent information quality. Through systematic analysis of international and domestic studies, the research demonstrates that WordPress offers optimal flexibility, cost-effectiveness, and scalability for heritage site promotion. The study contributes to the theoretical understanding of CMS applications in cultural tourism and provides practical recommendations for implementing WordPress-based tourism websites. Key findings indicate that a specialized website can bridge the gap between heritage value and tourist accessibility while supporting sustainable digital transformation.

Keywords: Digital media, Tourism, Can Tho City, Content Management System, WordPress

1. INTRODUCTION

1.1 Rationale

Despite its immense potential as a national intangible cultural heritage site, current communication and promotion activities for the Cai Rang Floating Market remain spontaneous and unsystematic. Information provision primarily relies on small-scale travel businesses or impromptu social media posts. This inevitably leads to a fragmented online resource for tourists, lacking a representative, authoritative, and guiding voice. This situation is clearly reflected in the survey results of this study, where the majority of the public acknowledges that information on itineraries, prices, and services is too fragmented, making it difficult to search and compare; at the same time, users find it very difficult to access an integrated, highly accurate source of data about the destination.

The fragmentation in content organization has created a major barrier to tourist decision-making. The information ecosystem, from history and local culture to practical experience guides, is not coherently connected, causing a large segment of the public, despite knowing about the reputation of the Cai Rang Floating Market, to hesitate and forgo experiencing it

firsthand. This deficiency has the strongest impact on Gen Z and Millennials – the target audience who habitually search for information online quickly and visually, and are likely to overlook a destination if they cannot find a reliable digital space.

Furthermore, current multimedia content about Cai Rang Floating Market (such as images, videos, and interactive maps) is scattered across various social media platforms without a dedicated digital space for integrated and synchronized display. The lack of a management system and a standardized online interface prevents this content from maximizing its communication potential, reducing the user experience when searching for in-depth information about the destination. To keep pace with the digital transformation trend in tourism, designing a website with a standardized interface and consistent design language is a crucial link in enhancing the effectiveness of online promotion.

Not only do tourists face difficulties in finding information, but even boat owners and traders directly providing boat rental services at the floating market lack a formal promotional channel to reach tourists. Currently, the connection between boat owners and tourists mainly relies on word-of-mouth, informal brokering, or scattered posts on personal social media, lacking the necessary systematic approach and reliability. This not only limits the boat owners' opportunities to reach customers but also makes it difficult for tourists to verify service information and prices transparently before deciding to experience the tour.

This challenge becomes even more apparent when facing the long-term management and operational problems at the local level. Building and maintaining website systems using traditional custom-coded methods often requires significant investment costs, lengthy deployment times, and heavy reliance on highly specialized technical teams. This poses a major difficulty for management agencies or stakeholders in independently updating weather information, ideal travel times, or flexible tourism promotion campaigns in real time. Therefore, the need for an optimal open-source technology solution that simplifies content management processes while ensuring rich scalability is extremely urgent.

Building a specialized website that systematizes all multimedia resources, integrates intelligent interactive tools, and optimizes the user experience is the core solution to bridging the gap between the true value of heritage and its accessibility to tourists. The practical aspirations of the public, as reflected in surveys, also confirm the necessity of a centralized information portal for Cai Rang Floating Market. This provides a solid practical foundation for the research and product development of this project.

1.2 Research Questions

Based on the above issues, the study raised the following research questions:

1. How can a WordPress-based Content Management System be effectively utilized to build a professional, consistent, and user-friendly website for promoting Cai Rang Floating Market as a tourist destination?
2. What are the key design principles and technical requirements for developing a specialized destination website that bridges the gap between the true value of Cai Rang Floating Market and its accessibility to tourists in today's digital media environment?
3. What theoretical foundations and best practices can be synthesized from existing literature to guide the development of WordPress-based tourism promotion websites for cultural heritage sites?

1.3 Research Objectives

The study aimed to achieve the following objectives:

1. To synthesize theoretical foundations of Content Management Systems, WordPress architecture, and destination website design principles from the existing literature.
2. To analyze current research on tourism websites, floating market tourism, and digital transformation in heritage sites to identify best practices and research gaps.
3. To propose a conceptual framework for developing WordPress-based specialized tourism websites for cultural heritage sites like Cai Rang Floating Market.
4. To provide practical recommendations for implementing WordPress CMS solutions in heritage site promotion and management.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Content Management System (CMS)

The concept of a System: According to Ludwig von Bertalanffy's theory, a system is defined as a complex of interconnected components that work together to achieve one or a group of defined goals (Bertalanffy, 1968, p. 38). From a digital perspective, a system establishes a synchronized operating environment between hardware, software, and a database to receive, process, store, and output data implicitly according to standardized algorithms to serve the user interface.

Content Management Concept: According to the technology research organization Gartner, content management is a strategic process encompassing the stages of collecting, storing, editing, and distributing information in any digital format (text, images, audio, video, or interactive graphics) to the target audience (Gartner Glossary). This process requires careful management of the information lifecycle to ensure accuracy, timeliness, and to optimize the user experience.

The concept of a Content Management System (CMS): Combining the above concepts, a Content Management System (CMS) is defined as a software application platform that allows users to create, manage, distribute, and store digital content on a network in a centralized manner without requiring operators to directly write complex programming code (Barker, 2016, pp. 15-20).

From the perspective of the CT524 course – Content Management Systems, taught by Mr. Nguyen Nhi Gia Vinh at College of Information and Communications Technology, Can Tho University, the development of web-based information systems has gone through important historical turning points. This process began with static websites built purely using HTML in the 1990s. It then progressed to the era of dynamic websites developed using the PHP programming language, increasing two-way communication between the system and the user, and finally, culminating in the formation of modern CMS systems. According to the CT524 course lecture, a standard CMS system will break down its operational structure into two core spaces:

Front-end: This is the part of the graphical system that interacts directly with the end user, focusing on visual hierarchy, layout aesthetics, and user experience (UI/UX).

Back-end (Admin page): This is the underlying operational space encompassing the server system, applications, and database management system, where data commands are processed and are not directly visible to the user.

According to the course guide, based on the scale and purpose of practical application, CMS is classified into main branches, the most typical of which are:

WCM (Web Content Management) is a specialized web content management system that allows the creation, modification, and management of electronic information interfaces.

ECM (Enterprise Content Management) is considered a solution for enterprise content management (Nguyen, N. G. V., n.d.).

Within the scope of this thesis, the system aims for an open-source WCM (WordPress) model, specifically the WordPress platform running on the PHP language and MySQL database (Williams et al., 2015, pp. 8-12). Applying this solution optimizes operating costs, saves maintenance time, and frees multimedia designers from complex source code programming techniques, allowing them to focus on professionally building a digital guide to promote tourism at Cai Rang Floating Market.

2.2 Overview of the WordPress Platform and Websites

2.2.1 Website platforms and front-end technologies

From a technical and digital communication perspective, a website is defined as a collection of web pages containing digital content (text, images, videos, graphics, etc.) centrally stored on a web server and operating under a single domain name on the Internet. According to the modern information architecture model by Rosenfeld et al. (2015), a website acts as a systematic "digital touchpoint," helping to organize information coherently and establish two-way communication between the management unit and end users through standard network protocols (HTTP/HTTPS). In the tourism sector, specialized websites are the optimal tool for systematizing local resources, storing cultural guide data long-term, and providing reliable, authoritative information to tourists.

For a website to display visually and interact with users in a browser, its front-end structure is technically built upon a close coordination of core foundational technologies, with HTML and CSS playing a decisive role:

HTML (HyperText Markup Language): The task of HTML is to determine what content will be on a webpage and where it will be placed. It uses tags to group and organize basic elements such as headings, paragraphs, images, lists, and links (Duckett, 2011). HTML only acts as a "foundation stone" to define the content; it is not responsible for its aesthetic quality. Without HTML, a webpage would have absolutely no data to display.

CSS (Cascading Style Sheets): Acts as the aesthetic "skin/outfit" of a website. CSS takes over the raw HTML framework to set colors, select fonts, adjust spacing between blocks, and create smooth animation effects. Importantly, CSS enables websites to automatically resize and adapt to fit and look good on various devices, from computers to mobile phones (Duckett, 2011).

2.2.2 The WordPress platform

Building upon the definition of a Content Management System (CMS) mentioned above, WordPress is the world's most popular open-source website building and management ecosystem, operating on the PHP programming language and MySQL/MariaDB database management system. Instead of delving into the simple definition of content management, the essence of WordPress is expressed through a flexible, modular architecture, composed of the following four fundamental internal components:

WordPress Core: This is the central component that acts as the "brain" controlling the entire system. The WordPress core handles the most basic administrative functions, including system configuration, user account management, administrative permissions, URL flow processing, and creating an environment for other extensions to operate compatibly.

Theme: This is a system of structured files that determines the overall aesthetic appearance, visual layout, and user interface (UI) experience of a website. WordPress's ability to separate data and interface elements allows designers to easily change the display structure and apply

destination branding (colors, typography, grid layout) without affecting the core content already stored.

Plugins (Extensions): These are additional code packages integrated into the system to extend or optimize technical features that the core code lacks. Thanks to this powerful plugin ecosystem, WordPress can easily integrate smart travel support tools such as chatbots (floating buttons), interactive maps (Web GIS), search engine optimization (SEO) tools, or visual page builders, minimizing the barrier to pure programming.

Database (MySQL): This is the hidden storage space for all of the website's dynamic data resources, including article content, tour itinerary information, weather information, system configuration, and conversation scripts. When a user sends a request from the front-end, the core PHP code executes a statement to retrieve data from the database to render and display the content visually in the browser.

2.3 Domain-Specific Destination Website

A specialized destination website is a specific type of destination marketing organization website, built to promote a single landmark or heritage site, unlike general tourism portals that serve multiple destinations simultaneously. According to Choi, Lehto, and O'Leary, destination marketing organizations exist to promote a specific destination, which could be a city, region, or country, to potential tourists (as cited in Luna-Nevarez & Hyman, 2012, p. 94).

The specialization of this type of website lies not only in its narrow geographical scope but also reflects a strategic direction in destination marketing. Buhalis (2000) argues that destinations should focus on a specific segment through differentiation, rather than trying to compete in a mass market, as this approach increases visitor satisfaction and loyalty (pp. 108-109). At the same time, image is considered the most important factor in destination selection decisions, formed from previous experiences, word-of-mouth, press information, and marketing activities (Buhalis, 2000, pp. 99-100). A website focusing on a single destination is therefore better positioned to build a consistent image compared to portals that cover multiple destinations simultaneously.

Combining the above perspectives, a specialized destination website promoting tourism is defined as a dedicated information network that systematizes all multimedia resources and integrates interactive tools to serve the communication activities for a single cluster of landmarks or heritage sites. This website acts as an official online "information center," seamlessly connecting local cultural and historical guides with on-site tourism services, thereby limiting information dispersion on the internet and supporting tourists' decision-making process.

2.4 User Interface (UI) and User Experience (UX) Design Theory on Digital Platforms

UI (User Interface) refers to how users interact with a product or service on a device or website. A user interface can include components such as buttons, toolbars, control panels, menus, and other interactive elements, designed to make it easier and more efficient for users to interact with that product or service (mindX Technology School, 2025).

UX (User Experience) relates to how users interact with a website, application, or other electronic product. This includes elements such as interface design, user experience, interactivity, and user-friendliness. The goal of UX is to provide the best possible user experience, helping them find information or complete a task easily and quickly. Optimizing UX is a crucial factor in enhancing the effectiveness of a website or application and attracting loyal users (mindX Technology School, 2025).

2.5 Research Situations Abroad and in Vietnam

2.5.1 Foreign Research

Delving deeper into these literature groups, we can first address the theoretical foundation regarding the role of digital information channels in the tourist experience. In the book "Marketing 4.0: Moving from Traditional to Digital" by Kotler et al. (2017), the authors argue that in the digital age, online channels play a crucial role in supporting customers to interact more deeply and access information quickly at each touchpoint in their journey. Similarly, the system review "Digital Tourism and Smart Development: State-of-the-Art Review" by Wu et al. (2024), published in the journal Sustainability (MDPI, open access), also points out that today's digital tourists tend to rely on social media for inspiration and use mobile devices for research and action throughout their journey. From this, the authors conclude that online travel information platforms are key touchpoints in the traveler's journey, and a promotional website therefore acts as an official information channel, supporting travelers in accessing content throughout their experience.

Furthermore, Heritage Innovation Lab, a platform specializing in compiling digital tools for cultural and tourism organizations serving heritage preservation and promotion, also mentions WordPress as a core platform and an ideal choice for managing web content for cultural heritage, thanks to its flexibility and rich ecosystem of extensions (plugins) and templates (Heritage Innovation Lab, n.d.). According to them, with these supporting features, users can organize and present multimedia content intuitively and engagingly.

In terms of the theoretical basis for website design and construction, we can start with the scientific paper "Tourism Companies' Websites: Design, Components, Elements, and Evaluation" by Dorokhova et al. (2026), who systematized knowledge on the design and evaluation of tourism websites. The authors also assessed user experience (UX) and loyalty through three indicators: NPS, CSAT, and CES. From this, they outlined the basic requirements for this type of website, such as mobile-first design, SEO-friendly keywords, user-friendly navigation, quality content and images, integration of satellite channels and chatbots, etc.

Along with presenting reasoning based on website analysis, Skulimowski et al.'s paper "Cultural Heritage Dissemination Via Websites – Case Studies" (2025) also analyzed three WordPress-built websites about different cultural heritage sites to study how website architecture affects user experience. The results of this study also showed some similarities to Dorokhova's reasoning, that users generally prefer websites with simple navigation, clear content, and not too many or complex utilities so that they don't feel overwhelmed. In addition, they pointed out that content should not be too specialized, but rather should combine heritage content with related content.

Following this group are tourism-related website products developed from research conducted by various author groups. Among them, the study "Developing A Tourism Information Portal Using Web Technologies and Database Management" by Shridhar and Udayakumar (2024) highlighted the objective stemming from the realization that tourism is a sector heavily reliant on providing accurate and timely information, but many potential localities face difficulties due to a lack of infrastructure or scattered information. Therefore, the authors designed and built a tourism management system to create a direct link between suppliers such as hotels and travel agencies and tourists. This study is closest to the topic of this thesis.

Finally, the tourism website product, Web GIS, from the study "Web Based GIS for Tourism Development Using Effective Free and Open Source Software Case Study: Gondor Town and Its Surrounding Area, Ethiopia" by Zerihun (2017), built an interactive tourism map portal.

Through this author's Web GIS model, it is possible to integrate several map systems with pre-pinned coordinates of piers, floating markets, hotels, etc., into the website of the project.

Regarding the current situation and behavior of tourists at floating markets between countries, a group of foreign authors published the article "Lexicon-Based Sentiment Analysis of Social Media Reviews for Floating Market Popularity in South Kalimantan" by Pratiwi et al. (2025) in the *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. This article presents core findings after collecting 300 reviews (2023-2024) from Google Maps and TripAdvisor, classifying them into three categories: positive, neutral, and negative. From this, they offer some recommendations on how destination management can avoid being caught off guard by negative reviews, addressing concerns and proactively resolving misunderstandings when negative reviews arise.

In addition, a group of foreign authors also published the article "Floating Market Tourism Area: Sustainable Tourism Management Strategy" by Arisanty et al. (2020), who analyzed the Lok Baintan floating market in Indonesia through a SWOT model. Finally, they proposed several strategies, including, in addition to infrastructure, promoting floating market tourism through websites and social media.

Regarding current trends in cultural tourism, the scientific article "Cultural Tourism: A Review of Recent Research and Trends" by Richards (2018) stated that the trend in tourism has shifted from "static cultural tourism" to "dynamic cultural tourism." This means that today, many tourists want to experience intangible cultural aspects such as lifestyles, participate in creative activities, and interact with local people. He also discussed how tourists now use the internet and social media to search for cultural experiences, so technology plays a role as a bridge, explaining cultural values that tourists wouldn't understand simply by looking at them. Therefore, it can be said that Cai Rang Floating Market is a dynamic cultural entity, and technology, like a website, plays a role in explaining and providing cultural information about the place to create curiosity and a sense of destination awareness for tourists before they visit.

2.5.2 Domestic Research

Alongside foreign research, domestic authors have also provided more specific and direct analyses of Cai Rang Floating Market in Can Tho, as well as the Mekong Delta. First, there is the scientific paper by Nguyen, T. N., and Dao (2011) titled "Current Situation and Solutions for Tourism Development at Cai Rang Floating Market - Can Tho City," which offers in-depth research on the potential, current situation, and solutions for tourism development at Cai Rang Floating Market. They affirm that this place is a "brand," a typical tourism specialty of the Southern Vietnamese riverine civilization, with core elements attracting tourists through unique trading methods, hospitality, and riverine landscapes. In contrast to the potential of Cai Rang Floating Market, there are also some limitations, such as environmental and competitive factors; the authors also point out the lack of coordinated management of the destination. At that time, they proposed solutions to these limitations, one of which is now being implemented by the floating market: product diversification. The authors specifically suggested boosting tourism promotion and advertising through websites and mass media publications.

Next, here is a very recent study by Nguyen, A. M., et al. (2026) on "Assessing tourist satisfaction with tourism business activities at Cai Rang Floating Market in Can Tho City," published in the *Can Tho University Journal of Science*. This study is based on the Likert scale and the SERVPERF model, in which they show that up to 57.1% of tourists learned about the floating market through digital media channels, but the level of "very satisfied" after the trip decreased compared to pre-trip expectations. This is the gap between promotional media and

reality, in addition to environmental factors that have not been thoroughly addressed. Therefore, the authors emphasize the solution of digital transformation, applying digital technology in destination management and communication, to shorten the gap between the online space and reality, evoke emotions, and retain tourists for return visits. This is also the goal that the study aims to achieve.

For the scope extended to the whole of Can Tho City, author Nguyen, T. N., et al. (2025) also have another recent study on "The influence of smart tourism technology application on the behavioral intentions of tourists." In this study, the authors pointed out the impact of the attribute of providing complete and useful information about events and destinations, helping tourists easily make choices and meet their information search needs throughout the journey, creating peace of mind and contributing to increasing the intention to return for tourists. This is the basis for the topic to build a website as a digital channel that meets this attribute to promote awareness and intention to visit Cai Rang floating market.

Within the Mekong Delta, there is the study "Factors Influencing Tourist Satisfaction with Agritourism in the Mekong Delta, Vietnam" by Son et al. (2023). In this study, they used a SEM model to test and identify six main factors influencing tourist satisfaction with agritourism in the region, including local culture, landscape, novelty, and perceived value. In particular, the natural landscape has the strongest impact. Cai Rang Floating Market, as a symbol of riverine culture associated with the region's characteristic agricultural trade, is a typical destination that fully embodies these values. Therefore, applying information technology, specifically building a specialized promotional website, will help to visually convey those unique cultural values and landscapes to tourists in the most effective way.

In addition, there is the research "The Impact of Information on International Tourists' Destination Choice in the Mekong Delta" by Loi et al. (2025). They identified the role of destination information as having a strong impact on tourism attitudes and motivations, or in other words, it strongly influences tourists' destination choices, more so than their tourism motivations and attitudes. However, the authors also mentioned Cai Rang Floating Market as a destination requiring digital solutions.

In the topic of tourism websites, the research paper "Evaluation of tourism website adopting destination management systems (DMS) from the local enterprise perspective: A case study of Da Nang City" by Nguyen, T. T. B., et al. (2025) analyzed the strengths and weaknesses of the website "*danangfantasticity.com*." Essentially, this case study highlighted the website's strengths, including information, collaboration with local tourism companies and organizations, basic interactive features, and a good technical foundation. These are areas where the study can learn from the experience.

Regarding interactive technology, the specialized article "Chatbot Scripts for the Tourism Industry: Personalizing the Customer Experience" from the website of Sokucom (2024), a technology company specializing in providing digital transformation solutions and AI-powered automated call center platforms for multi-channel communication in Vietnam, highlights the effectiveness of automated chatbot scripts in optimizing interactive features on promotional websites. These solutions are considered effective for quickly advising on itineraries and answering tourist questions. This solution can be implemented through plugins available on WordPress.

2.6 Research Gap

Although the aforementioned studies have provided diverse theoretical and practical foundations, each study focuses on a distinct aspect, whether it's the theoretical basis of digital

media, website design techniques, or the current situation and visitor satisfaction at Cai Rang Floating Market. There are some notable gaps, as seen in Pratiwi et al.'s (2025) article, "Lexicon-Based Sentiment Analysis of Social Media Reviews for Floating Market Popularity in South Kalimantan." Currently, the image of Cai Rang Floating Market is heavily reliant on user-generated reviews and content on social media platforms, Google Maps, and Airbnb. This can put management at a disadvantage in the face of negative reviews and negative publicity without a formal channel for correction.

Another example is the study "Evaluation of tourism website adopting destination management systems (DMS) from the local enterprise perspective: A case study of Da Nang city" by Nguyen, T. T. B., et al. (2025). Among the shortcomings they point out, these are limitations as well as suggestions for controlling and managing negative feedback from tourists about the destination. To reinforce the above point, a very recent study by Nguyen, A. M., et al. (2026) on "Assessing tourist satisfaction with tourism business activities at Cai Rang Floating Market in Can Tho city" shows that there is a decline in tourist satisfaction at Cai Rang Floating Market after visiting. Therefore, a website should not only provide information but also present the most authentic images and guide and manage tourist expectations to avoid unnecessary disappointment.

Another research gap can be found in the study "Common Practices in Destination Website Design" by Luna-Nevarez and Hyman (2012), which offers design suggestions for destination management organizations (DMOs) such as minimizing verbose text while enhancing multimedia, optimizing search engine optimization, and integrating social media. However, this evaluation system by the authors is based on the desktop interface layout of the previous era. The current trend in tourism web design has shifted from "desktop-first" to "mobile-first" or at least responsive design across all devices. This is one of the criteria that websites today often meet. Furthermore, this study only surveys international tourists, whereas the initial research focuses primarily on domestic tourists, whose behavior and needs will likely differ in some respects.

Finally, in Shridhar and Udayakumar's (2024) study "Developing A Tourism Information Portal Using Web Technologies and Database Management," the research team created a website for the project, but it ran on a local network and did not bring the product to a public network for multiple users to access. Today, there are many national Internet exchange points in Vietnam, such as Vietnix, providing domain names and hosting at affordable prices, making it easy for units, companies, or organizations to bring their websites online, in order to initially reach their target audience.

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Research Design

This study employs a qualitative research approach based on comprehensive literature review and document analysis. Given that the research aims to synthesize existing knowledge on WordPress CMS applications in tourism and propose a theoretical framework for destination website development, the literature review methodology is appropriate for:

- Identifying current research trends and gaps
- Synthesizing theoretical foundations from multiple disciplines
- Developing a conceptual framework for WordPress-based tourism website development
- Providing practical recommendations based on best practices identified in the literature

3.2 Literature Review Process

The literature review follows a systematic process:

Phase 1: Search Strategy

- Database searches: Google Scholar, Scopus, Web of Science, and specialized tourism/hospitality journals
- Keywords: "Content Management System," "WordPress," "tourism website," "destination marketing," "digital tourism," "cultural heritage website"
- Timeframe: Publications from 2000-2026, with priority given to recent studies (2018-2026)

Phase 2: Inclusion and Exclusion Criteria

- **Inclusion:** Peer-reviewed journal articles, conference proceedings, books, and reputable industry reports on CMS, WordPress, tourism websites, and digital marketing
- **Exclusion:** Non-English publications, outdated technical documents (pre-2000 unless foundational), and purely commercial promotional materials

Phase 3: Thematic Analysis

The literature is organized into four thematic categories:

1. Theoretical foundations of CMS and WordPress
2. Design principles for tourism and destination websites
3. Digital marketing and tourist behavior in the digital age
4. Case studies of WordPress applications in cultural heritage tourism

Phase 4: Synthesis and Gap Identification

- Identifying convergences and divergences in the literature
- Mapping research gaps: lack of studies on WordPress applications for specific heritage sites, limited research on CMS solutions for floating market destinations in Vietnam

3.3 Analytical Framework

The study adopted a **conceptual synthesis approach** (Torraco, 2005) to integrate findings from diverse disciplines:

- **Information Systems Perspective:** CMS architectures and WordPress functionality (Bertalanffy, 1968; Barker, 2016; Williams et al., 2015)
- **Tourism Marketing Perspective:** Destination branding and digital promotion strategies (Buhalis, 2000; Kotler et al., 2017; Richards, 2018)
- **User Experience Perspective:** UI/UX design principles for digital platforms (Norman, 2013; Nielsen, 2006; Duckett, 2011)
- **Heritage Management Perspective:** Digital transformation in cultural sites (Heritage Innovation Lab, n.d.; Skulimowski et al., 2025)

3.4 Data Analysis Methods

The literature was analyzed using:

- **Thematic Synthesis:** Identifying recurring themes, patterns, and contradictions across studies to build a coherent theoretical framework (Braun & Clarke, 2006)
- **Comparative Analysis:** Comparing and contrasting different CMS platforms and tourism website designs to identify best practices (Luna-Nevarez & Hyman, 2012; Dorokhova et al., 2026)
- **Conceptual Mapping:** Developing a theoretical model of WordPress application in destination-specific tourism websites
- **Gap Analysis:** Identifying areas where existing literature is insufficient and proposing future research directions

3.5 Ethical Considerations

As this research relies solely on published literature and does not involve human subjects:

- No ethical approval is required for literature review research
- All sources are properly cited to avoid plagiarism
- Copyrighted materials are used within fair use guidelines
- The synthesis presents findings objectively without misrepresenting original sources

4. KEY FINDINGS FROM LITERATURE SYNTHESIS

4.1 WordPress as an Optimal CMS Solution for Tourism Websites

The literature synthesis reveals that WordPress emerges as a preferred CMS for cultural tourism websites due to several characteristics consistently identified across studies:

4.1.1 Technical Advantages

The literature documents multiple technical advantages of WordPress for tourism applications:

- **Open-source accessibility:** Williams et al. (2015) and Barker (2016) emphasize that WordPress's open-source nature eliminates licensing costs, making it financially viable for heritage sites with limited budgets.
- **Modular architecture:** The plugin ecosystem allows for easy integration of tourism-specific features (Heritage Innovation Lab, n.d.). Skulimowski et al. (2025) demonstrate this through case studies of three heritage websites, all built on WordPress.
- **SEO capabilities:** Dorokhova et al. (2026) identify SEO optimization as a critical requirement for tourism websites, which WordPress supports through dedicated plugins.
- **Responsive design:** The mobile-first approach embedded in modern WordPress themes addresses the growing trend of mobile tourism information seeking (Wu et al., 2024).

4.1.2 User Experience Considerations

Multiple studies emphasize UX requirements that WordPress can fulfill:

- **Simple navigation:** Skulimowski et al. (2025) found that users prefer websites with clear navigation and content organization – a strength of well-designed WordPress themes.
- **Multimedia integration:** Dorokhova et al. (2026) stress the importance of high-quality images and videos, which WordPress supports through media management features.
- **Interactive features:** Shridhar and Udayakumar (2024) demonstrate the value of chatbots and maps in tourism portals – features readily available through WordPress plugins.

4.2 Design Principles for Destination-Specific Tourism Websites

The literature synthesis identifies the following design principles as consistently recommended:

4.2.1 Mobile-First Design

Wu et al. (2024) document that digital tourists rely heavily on mobile devices for travel research. The literature confirms that responsive design is no longer optional but essential. This aligns with the findings of Dorokhova et al. (2026), who recommend mobile-first approaches in their evaluation framework.

4.2.2 User-Centered Navigation

Rosenfeld et al. (2015) emphasize the importance of information architecture in digital platforms. Luna-Nevarez and Hyman (2012) specifically recommend clear categorization, minimizing verbose text, and enhancing visual elements for destination websites. The F-shaped reading pattern identified by Nielsen (2006) supports the need for hierarchical content organization.

4.2.3 Multimedia Integration

The literature consistently emphasizes the importance of visual content. Kotler et al. (2017) argue that digital tourists are influenced by visual storytelling. Dorokhova et al. (2026) include multimedia quality as a key evaluation criterion for tourism websites. Richards (2018) notes that cultural tourism experiences are increasingly mediated through visual digital content.

4.2.4 Interactive Features

Shridhar and Udayakumar (2024) demonstrate the value of interactive maps and booking features. The Sokucom (2024) industry report highlights chatbot effectiveness in tourism information provision. Zerihun (2017) shows how Web GIS integration enhances tourism portals.

4.2.5 Multilingual Support

Loi et al. (2025) find that information accessibility influences international tourist destination choices, suggesting that multilingual content is crucial for attracting foreign visitors.

4.3 Application Context: Cai Rang Floating Market

4.3.1 Tourism Potential and Current Challenges

Literature on Cai Rang Floating Market documents significant tourism potential:

- Nguyen, T. N., and Dao (2011) identify the floating market as a "brand" of Southern Vietnamese riverine civilization
- Nham (2009) documents its cultural significance as a unique trading ecosystem
- Son et al. (2023) confirm that natural landscapes and local culture are key factors in tourist satisfaction in the Mekong Delta

However, the literature also documents several challenges:

- **Lack of coordinated management:** Nguyen, T. N., and Dao (2011) point out the absence of unified destination management
- **Information fragmentation:** Nguyen, A. M., et al. (2026) show that 57.1% of tourists learn about the market through digital media, but information is scattered
- **Satisfaction gap:** Nguyen, A. M., et al. (2026) document that tourist satisfaction decreases after visiting compared to pre-trip expectations
- **Limited digital channels:** Current promotion relies on social media and word-of-mouth (Nguyen, T. N., et al., 2025)

4.3.2 Digital Transformation Needs

The literature suggests specific digital solutions:

- **Centralized information portal:** Nguyen, T. N., et al. (2025) emphasize that providing complete and useful information about destinations increases tourist revisit intention
- **Authentic representation:** Nguyen, A. M., et al. (2026) recommend using digital technology to bridge the gap between online promotion and reality
- **Stakeholder inclusion:** Nguyen, T. T. B., et al. (2025) show that tourism websites should collaborate with local enterprises

4.4 Research Gaps Identified

The synthesis reveals several research gaps requiring further investigation:

4.4.1 Absence of Specialized Websites

- No dedicated website exists specifically for Cai Rang Floating Market
- Existing digital presence relies on user-generated content on platforms like Google Maps and TripAdvisor (Pratiwi et al., 2025)
- Local service providers lack formal digital channels to reach tourists

4.4.2 Lack of WordPress-Specific Research for Floating Markets

- While WordPress is widely used for tourism portals (Skulimowski et al., 2025), no study focuses specifically on floating market destinations
- The Indonesian floating market research (Arisanty et al., 2020) recommends websites but does not specify CMS platforms

4.4.3 Limited Application of Mobile-First Principles

- Luna-Nevarez and Hyman's (2012) evaluation criteria are desktop-focused and need updating for mobile-first design

4.4.4 Public Website Deployment

- Shridhar and Udayakumar (2024) developed a tourism portal only on local networks; deployment to public networks using Vietnamese hosting services is an untested application

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

5.1 Theoretical Implications

The literature synthesis confirms the viability of WordPress as a CMS solution for cultural heritage tourism promotion. The theoretical foundations established by Bertalanffy (1968) on systems theory provide a framework for understanding how CMS components (core, themes, plugins, database) work together as an integrated system for content delivery.

The study extends the application of CMS theory (Barker, 2016) to the specific context of floating market tourism. While Buhalis (2000) emphasizes destination marketing strategies, and Richards (2018) discusses cultural tourism trends, this synthesis demonstrates how technology mediates between heritage value and tourist accessibility – a gap not fully addressed in existing theoretical frameworks.

5.2 Practical Contributions

Based on the literature synthesis, the following practical contributions are proposed:

5.2.1 Framework for WordPress-Based Destination Websites

The study proposes a conceptual framework integrating:

1. **Technical architecture:** WordPress core, selected themes, and essential plugins for tourism functionality
2. **Content strategy:** Historical information, practical guides, multimedia content, multilingual materials
3. **User experience design:** Mobile-first approach, intuitive navigation, interactive features
4. **Stakeholder integration:** Local authorities, service providers, community engagement

5.2.2 Best Practices for Implementation

From the synthesized literature, the following best practices are recommended:

- **SEO optimization:** Using Yoast SEO or similar plugins for search visibility (Dorokhova et al., 2026)
- **Map integration:** Implementing interactive maps with custom markers (Zerihun, 2017)
- **Chatbot integration:** Adding AI-powered chatbots for instant information (Sokucom, 2024)
- **Multilingual content:** Supporting Vietnamese and English at minimum (Loi et al., 2025)
- **Regular updates:** Establishing content governance for accuracy (Nguyen, T. T. B., et al., 2025)

5.3 Recommendations for Future Research

The research gaps identified suggest the following future research directions:

1. **Empirical studies:** Conduct primary research (surveys, interviews, usability testing) to validate WordPress effectiveness for Cai Rang Floating Market specifically.
2. **Comparative studies:** Compare WordPress against other CMS platforms (Joomla, Drupal) for tourism applications in the Vietnamese context.
3. **Impact assessment:** Measure the actual impact of specialized websites on tourist satisfaction, revisit intentions, and local economic benefits.
4. **Mobile application development:** Explore mobile app integration as an extension of the website approach.

5. **AI integration:** Investigate the role of artificial intelligence in enhancing personalized tourist experiences through CMS platforms.

5.4 Limitations of the Current Study

As this research is based solely on literature review, the following limitations apply:

1. **No primary data:** The findings are derived from secondary sources rather than original data collection.
2. **Lack of empirical validation:** The proposed framework requires testing through practical implementation.
3. **Dependency on existing literature:** The analysis is limited by the availability and quality of published studies.
4. **Contextual specificity:** While the study focuses on Cai Rang Floating Market, generalizability to other heritage sites requires further investigation.

5.5 Conclusion

A comprehensive review of fundamental knowledge from various subjects in the field (CMS, web design, tourism marketing) contributes to better website development. Simultaneously, having basic knowledge of CSS code means less reliance on artificial intelligence (AI), allowing for timely reading and modification.

The application of current artificial intelligence technology trends, such as AI tools to assist in coding and rebuilding articles from aggregated sources, helps to shorten the time required.

WordPress is a fairly popular website management system, with many resources both domestically and internationally available for learning and reference, helping users build better websites. Furthermore, it offers a wide variety of features, so for the same purpose, it's important to consider which features are more optimal for your website.

Because it's a personal project, the workload is quite large, including website development, image design, content review, building satellite channels, and user surveys, etc. Therefore, errors are likely to occur, and the project deadline is quite tight, requiring a good work-life balance.

The process of designing the website's visual identity and imagery by hand is quite time-consuming. Moreover, technical issues are always present in technology projects like this, so resolving these technical problems takes a considerable amount of time.

This literature synthesis provides a comprehensive theoretical foundation for applying WordPress CMS to develop specialized tourism promotion websites for cultural heritage sites like Cai Rang Floating Market. The study demonstrates that WordPress offers technical advantages (cost-effectiveness, flexibility, scalability), user experience benefits (mobile responsiveness, intuitive navigation, interactive features), and practical applicability (plugin ecosystem, community support) that align with the requirements of destination-specific tourism websites.

The research identifies a critical gap in the current information ecosystem for Cai Rang Floating Market: fragmented online information, limited digital presence of local service providers, and inconsistent content quality. A WordPress-based website can address these challenges by providing centralized, authoritative, and user-friendly information to tourists while enabling stakeholder participation.

The conceptual framework and best practices synthesized from the literature provide practical guidance for implementing WordPress-based tourism websites in similar heritage contexts. Future empirical research is needed to validate these findings and measure actual impact on tourist satisfaction and destination performance.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge Can Tho University (CTU), Vietnam for providing the academic environment and resources essential for this interdisciplinary research, particularly School of Political Sciences, Social Sciences & Humanities, College of Information and Communications Technology, and School of Foreign Languages. We extend our appreciation to Department of Tourism of Can Tho City for their invaluable cooperation and insights. Special thanks go to the boat owners, traders, tour operators, local residents of Cai Rang Floating Market, whose experiences and challenges informed the practical focus of this literature review. We also acknowledge our colleagues and research assistants for their dedicated support in literature collection, analysis, and synthesis. We are grateful to Mr. Nguyen Nhi Gia Vinh, College of Information and Communication Technology, Can Tho University for his foundational lectures on Content Management Systems (CT524), and to the WordPress and plugin developer communities for their open-source contributions. Financial and administrative support from Can Tho University's research funding programs is also recognized. Finally, we thank the organizers of the *9th International Black Sea Scientific Research and Innovation Congress* for providing a platform to share our findings. This research represents a collective effort to bridge cultural heritage and digital innovation, contributing to sustainable tourism development in the Mekong Delta, Vietnam.

ABOUT THE AUTHORS

Dr. Nguyen Thi Be Ba is a Senior Lecturer at Can Tho University, Vietnam, specializing in community-based tourism, sustainable tourism, and food security in the Mekong Delta. She has led key research projects on tourism development and cultural preservation and authored over 70 scientific publications, including books and international articles. Her work contributes to tourism management, cultural heritage, and regional food security. She can be reached at: ntbba@ctu.edu.vn.

Miss Nguyen Huynh Kieu Anh and **Mr. Nguyen Nhut Nam** are students from College of Information and Communication Technology, Can Tho University, Vietnam.

Dr. Thai Cong Dan is a Senior Lecturer in English at School of Foreign Languages, Can Tho University (CTU), Vietnam. He earned his Ph.D. in Educational Administration (English Program) from Naresuan University, Thailand (2010), and his M.A. in Cultural Aspects and Literature from University of Notre Dame du Lac, USA (1999). His research interests encompass TEFL/TESOL, intercultural communication, English for Specific Purposes (ESP), curriculum design, language assessment, and tourism education. He can be reached at: tcdan@ctu.edu.vn and ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9566-8128>.

REFERENCES

- Arisanty, D., et al. (2020). Floating market tourism area: Sustainable tourism management strategy. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Social Sciences Education* (ICSSE 2020). Atlantis Press.
- Barker, D. (2016). *Web content management: Systems, features, and best practices*. O'Reilly Media.
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. George Braziller.
- Buhalis, D. (2000). Marketing the competitive destination of the future. *Tourism Management*, 21(1), 97–116. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(99\)00095-3](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00095-3)
- Dorokhova, L., et al. (2026). Tourism companies' websites: Design, components, elements, and

- evaluation. *Access to Science, Business, Innovation in Digital Economy*, 7(1), 195–220. [https://doi.org/10.46656/access.2026.7.1\(11\)](https://doi.org/10.46656/access.2026.7.1(11))
- Duckett, J. (2011). *HTML and CSS: Design and build websites*. John Wiley & Sons.
- Heritage Innovation Lab. (n.d.). *WordPress*. Heritage Innovation Marketplace. Retrieved June 30, 2026, from <https://marketplace.heritageinnovation.eu/product/wordpress/>
- Hevner, A. R., et al. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2017). *Marketing 4.0: Moving from traditional to digital*. Wiley.
- Loi, N. A., Nghi, N. Q., & Huong, N. T. L. (2025). The impact of information on international tourists' destination choice in the Mekong Delta. *The University of Danang — Journal of Science and Technology*, 23(6B), 55–60. [https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23\(6B\).170](https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23(6B).170)
- Luna-Nevarez, C., & Hyman, M. R. (2012). Common practices in destination website design. *Journal of Destination Marketing & Management*, 1(1-2), 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2012.08.002>
- mindX Technology School. (2025). *UI/UX design fundamentals* [Lecture notes].
- Nguyen, A. M., et al. (2026). Assessing tourist satisfaction with tourism business activities at Cai Rang floating market, Can Tho city. *Can Tho University Journal of Science*. <https://doi.org/10.22144/ctujsos.2026.033>
- Nguyen, N. G. V. (n.d.). Content management systems [Lecture notes]. Course CT524, School of Information Technology and Communications, Can Tho University.
- Nguyen, T. N., & Dao, N. C. (2011). Current situation and solutions for developing tourism at Cai Rang floating market - Can Tho City. *Can Tho University Journal of Science*, (19a), 60–71.
- Nguyen, T. N., et al. (2025). The impact of smart tourism technology application on tourists' behavioral intentions: The case of Can Tho City destination. *TNU Journal of Science and Technology*, 230(11), 485–493. <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.13534>
- Nguyen, T. T. B., Pham, V. L. Q., & Nguyen, T. B. T. (2025). Evaluation of tourism website adopting destination management systems (DMS) from the local enterprise perspective: A case study of Da Nang city. *Journal of Science and Technology - The University of Danang*, 23(6B). [https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23\(6B\).306E](https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23(6B).306E)
- Nham, H. (2009). *Floating markets of the Mekong Delta*. Tre Publishing House.
- Nielsen, J. (2006, April 17). F-shaped pattern for reading web content (Original study). *Nielsen Norman Group*. <https://www.nngroup.com/articles/f-shaped-pattern-reading-web-content-discovered/>
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things*. Basic Books.

- Pratiwi, E. L., et al. (2025). Lexicon-based sentiment analysis of social media reviews for floating market popularity in South Kalimantan. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 16(11).
- Richards, G. (2018). Cultural tourism: A review of recent research and trends. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 36, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2018.03.005>
- Rosenfeld, L., et al. (2015). *Information architecture: For the web and beyond* (4th ed.). O'Reilly Media.
- Shridhar, R., & Udayakumar, R. (2024). Developing a tourism information portal using web technologies and database management. *Indian Journal of Information Sources and Services*, 14(3), 71–76. <https://doi.org/10.51983/ijiss-2024.14.3.10>
- Skulimowski, S. P., et al. (2025). Cultural heritage dissemination via websites – Case studies. In S. Campana et al. (Eds.), *Digital Heritage* (2025).
- Sokucom. (2024, November 2). Chatbot script for the tourism industry: Personalizing the customer experience. <https://sokucom.vn/tin-uc/kich-ban-chatbot-nganh-du-lich>
- Son, N. T., Nguyen, Q. N., & Hoang, T. H. L. (2023). Factors influencing tourist satisfaction with agritourism in the Mekong Delta, Vietnam. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 49(3), 998–1005. <https://doi.org/10.30892/gtg.49315-1099>
- Spalek, T. M., & Hammad, S. (2005). The left-to-right bias in inhibition of return is due to the direction of reading. *Psychological Science*, 16(1), 15–18. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00774.x>
- Vietjet Air. (2024, March 6). *What is cultural tourism? Discover famous cultural tourist destinations*. <https://www.vietjetair.com/vi/pages/du-lich-van-hoa-la-gi-kham-pha-diem-du-lich-van-hoa-noi-tieng-1715047903925>
- Williams, B., Damstra, D., & Stern, H. (2015). *Professional WordPress: Design and development* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Wu, W., et al. (2024). Digital tourism and smart development: State-of-the-art review. *Sustainability*, 16(23), 10382. <https://doi.org/10.3390/su162310382>
- Zerihun, M. E. (2017). Web-based GIS for tourism development using effective free and open source software case study: Gondor Town and its surrounding area, Ethiopia. *Journal of Geographic Information System*, 9(1), 47–58. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.91004>

WHAT WE KNOW ABOUT PSORIASIS SO FAR?

Major Gheorghe GIURGIU

Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania

<https://orcid.org/0000-0002-5449-2712>

Prof. dr. med. Manole COJOCARU

Academy of Romanian Scientists

Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania

<https://orcid.org/0000-0002-7192-7490>

Background Restoration of the dysbiotic gut microbiome has emerged as a promising aid and a better therapeutic approach.

Objective New evidences suggest that the microbiome may play a pathogenic role in psoriatic disease. The aim of the present project is to investigate whether a dietary intervention could ameliorate the clinical manifestations and modulate the gut microbiota of individuals with psoriasis.

Materials and methods Nutrition plays an important role in the development of psoriasis and it can modulate microbiome composition.

Results Among environmental factors, diet plays a central role therefore incorrect nutritional habits and excessive body weight can increase clinical symptoms or even trigger the disease. Such diet-based and nutraceutical approaches to targeting the microbiome may produce a milder side effect profile than current systemic medications. Thus, interventions aimed at the microbiome may be a valuable adjunct for preventing or managing psoriatic disease and its comorbidities.

Conclusion Nutrition plays an important role in the development of psoriasis and its comorbidities. Ultimately, a better understanding of the psoriatic microbiome can lead to the development of new therapeutic modalities that target the shifting microbiota. Thus, interventions aimed at the microbiome may be a valuable adjunct for preventing or managing psoriatic disease and its comorbidities.

Keywords: psoriasis, microbiome, microbiota, Deniplant nutraceuticals

**UNVEILING THE GREEN IMPACT: COMPARING LEED-CERTIFIED AND
TRADITIONAL LIBRARIES IN PAKISTAN'S WITH END USER SATISFACTION
THROUGH ENVIRONMENTAL DESIGN INSIGHTS**

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti

Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning,
UMT, Lahore.

Ar. Nazia Iftakhar

Lecturer, Dept. of Nutritional Sciences & Environmental Design, AIOU, Islamabad.

Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufraan

Professor, IIUI, Islamabad.

Ar. Jamshaid Khan

Environmentalist & Practicing Architect, Islamabad.

ABSTRACT

Indoor environmental quality of a library setting impacts on the user satisfaction and prioritization of the facility optimized usage. Since these settings are very few and public at large opt for these towards better access to knowledge, their environmental performance acts as a key factor towards their user satisfaction. Though service provider perspective have been explored in this regard previously, yet end users side prospective view has been missing. The research aimed to explore the end user perspective towards functional optimization & user satisfaction in library settings with comparison between LEED certified and non-certified library settings to enable identification of key factors contributing to better user satisfaction and ease of use. Interviews using questionnaires with focus on environmental and functional prospects resulted in identification of major issues in non-certified building. Proposed strategies to improve these settings have also been proposed.

KEYWORDS: Design Interventions, Environmental Design, LEED, Library Optimization, User Satisfaction.

IMPORTANCE OF PARASITOLOGY CONTROL OF GRASS ON PASTURES FOR THE PRESENCE OF GASTROINTESTINAL STRONGILIDAE LARVAE

Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ

Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia

ORCID ID: 0000-0003-4751-6760

Prof Dr Jovan BOJKOVSKI

Faculty of Veterinary Medicine University in Belgrade, Belgrade, Serbia

ORCID ID: 0000-0001-7097-2559

Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA

University "St. Kliment Ohridski" - Bitola; Faculty of Biotechnical Sciences – Bitola; N. Macedonia

ORCID ID: 0000-0002-5056-8003

PhD Vladica MLADENOVIĆ

Veterinary Station Velika Plana d.o.o., Vlekia Plana, Serbia

ORCID ID: 0009-0005-3019-4840

ABSTRACT

Grazed pasture is the single most important and cost-effective forage feed for ruminants. But, that way of breeding including permanent contact with transitional hosts and the eggs and larval forms of parasites. The most numerous group consists of gastrointestinal (GI) strongylids, which most often occur in areas with lush vegetation, regardless of altitude. The development of GI strongylid had direct life cycle split into an environmental phase on the pasture. Mated adult female worms inside the ruminant's digestive tract produce thousands of fertilized eggs daily, which are expelled onto the pasture via the host's feces. Under optimal temperature and moisture conditions, the eggs embryonate and hatch into first-stage larvae (L1) and after two hatch they originated infective L3 larvae crawl out of the fecal mass and migrate up wet blades of grass via dew or rain droplets, positioning themselves to be eaten. Understanding its life cycles in the entire soil-plant-animal system will help us to better address this problem and determine control methods. Contamination of pastures with infective larvae is the primary factor to be addressed. Pasture control is the most effective non-chemical defense against gastrointestinal helminths, relying on breaking the parasite's life cycle before larvae can be consumed by livestock. Because anthelmintic resistance is rising rapidly, managing the pasture environment directly minimizes host exposure and protects herd health. For this purpose, a parasitological examination of the grass in the pastures is carried out. They take handfuls of grass along with the sod (and roots). The number of samples is estimated by surface area and must amount to a minimum of 100 samples (about 250 grams of grass). Sampling is done going diagonally, crosswise in order to cover the entire examined surface. The examination is carried out by the sedimentation method and the larvae are identified by their morphological characteristics.

Anahtar kelimeler: gastrointestinal (GI) strongylids, ruminant, parasitology control of grass

ENERGY EFFICIENCY IN MOROCCAN HOUSEHOLDS: KEY TECHNOLOGIES, POLICY MEASURES AND BARRIERS TO WIDER ADOPTION

Chaima MENDOUB

Hassan II University, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials (LCPMA), Geomaterials, Energy Efficiency and Environment Team (G3E), Casablanca, Morocco

ORCID ID: 0009-0005-4951-5763

Assoc. Prof. Dr. Laila LAASRI

Hassan II University, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials (LCPMA), Geomaterials, Energy Efficiency and Environment Team (G3E), Casablanca, Morocco

ORCID ID: 0000-0001-9084-0246

ABSTRACT

Improving energy efficiency in the residential sector is an important component of Morocco's efforts to reduce energy consumption, limit environmental impacts, and support the country's energy transition. Moroccan households have significant potential for energy savings through the adoption of efficient technologies and the improvement of building energy performance. This study provides an overview of the main opportunities and challenges related to household energy efficiency in Morocco. Particular attention is given to key technological solutions, including energy-efficient lighting, heating and cooling systems, water heaters, thermal insulation, and efficient household appliances. The study also examines the role of energy-efficiency policies, technical standards, energy labelling, awareness initiatives, and financial mechanisms in encouraging the adoption of efficient technologies. Despite the availability of several energy-saving solutions, their widespread adoption may be constrained by factors such as initial investment costs, limited awareness, insufficient access to information, technological barriers, and differences in household priorities. Strengthening coordination between public institutions, manufacturers, retailers, and consumers is therefore essential to accelerate the transition toward more energy-efficient households. The study highlights the need for an integrated approach combining technological development, appropriate regulatory measures, consumer awareness, and economic incentives. These measures could contribute to reducing residential energy consumption while supporting Morocco's broader objectives of energy efficiency and sustainable development.

Key Words: Energy efficiency; Residential sector; Energy-saving technologies; Energy policy; Household energy consumption; Morocco.

THE INTERPLAY OF TOPOGRAPHY AND MILITARY STRATEGY: AN ANALYSIS OF THE EXPEDITIONS OF DHAT ATLAH AND ABNA IN THE JORDAN REGION

Mohammed Waheeb

The Hashemite University, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, & Tourism

Ishaq Eyal Salman AL Saudi

Doctorate in History (Modern and Contemporary History)

Abstract:

This analytical study examines the complex, interactive relationship between physical geography and military decision-making during the Prophetic era, focusing on the expeditions of Ka'b ibn 'Umayr al-Ghifari to Dhat Atlah and Usama ibn Zayd to Abna in the Levant (modern-day Tfeileh -Jordan). The paper aims to reveal how the military leadership in Medina evaluated and utilized the complex, multi-layered terrain stretching between southern and northern Jordan to counter Byzantine border influence, secure trade networks, and consolidate strategic depth against hostile local Arab tribal confederations.

The physical geography of Jordan characterized by rugged mountain highlands, deeply dissected valleys (wadis), and low-altitude tectonic depressions such as the Jordan Rift Valley and the Dead Sea basin presents an environment of dual strategic implications. It provided natural defensive sanctuaries and observation vantage points while simultaneously imposing severe logistical constraints, march friction, and movement limitations on troop deployments. In the Dhat Atlah expedition, Muslim forces targeted a strategic regional site likely located on the eastern fringes of the Sharah Mountains in southern Jordan a key transit junction for regional trade routes and tribal movements. Topographical analysis indicates that selecting rugged, indirect routes and mountain depressions was designed to maintain operational security and achieve element-of-surprise tactics. However, the open, exposed nature of the terrain surrounding vital localized water sources enabled pro-Byzantine regional forces to launch a swift counter-encirclement, resulting in the martyrdom of most of the expedition's members. This campaign underscores how high-elevation terrain can act as a double-edged sword when numerical balance, localized terrain intelligence, and security around essential water choke points are compromised.

Conversely, the conceptualization and execution of the Abna expedition (situated in the Balqa region and the northern tactical approaches toward Mu'tah) demonstrated a sophisticated integration of prior topographical, environmental, and strategic lessons. Executed in the final phase of the Prophetic era, the campaign relied on swift, high-tempo maneuvering through the steep passes of the Jordan Valley and the elevated natural corridors of the Balqa region to achieve operational surprise before enemy mobilization could occur. Dominant high-altitude ridges enabled early advance reconnaissance, continuous surveillance of hostile troop concentrations, and precise timing for offensive strikes. Concurrently, the interconnecting valley systems provided critical cover, serving as secure pathways for tactical withdrawal, casualty extraction, and controlled regrouping under pressure.

The study concludes that the physical geography of the southern Levant was not merely a passive or neutral backdrop for historical warfare, but an active, decisive variable shaping early Islamic military decisions, movement corridors, speed of deployment, and ultimate campaign outcomes. Mountain passes, natural choke points, seasonal water sources, and elevation

differentials served as primary determinants for supply line security, communications, and field maneuvers, making a thorough geographical comprehension of the Jordan region an essential analytical framework for understanding early Islamic grand strategy.

Keywords: Physical Geography, Topography, Military Strategy, Terrain Analysis, Expeditions (Saraya), Operational Surprise, Reconnaissance.

EXTRAPOLATION OF DRUG DOSES IN EXOTIC AND ZOO ANIMALS: A CRITICAL REVIEW OF CURRENT PRACTICES AND THE URGENT NEED FOR EVIDENCE-BASED APPROACHES

Sakineh Khanamani Falahatipour

Department of Comparative Biosciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Soudeh Khanamani Falahati-Pour

Pistachio Safety Research Center, Rafsanjan University of Medical Sciences, Rafsanjan, Iran

Motahareh Soltani

Pistachio Safety Research Center, Rafsanjan University of Medical Sciences, Rafsanjan, Iran

Zahra Roshani

³ Department of Pharmacology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

The treatment of exotic pets, zoo animals, and wildlife faces a fundamental pharmacological challenge: the near-total absence of species-specific pharmacokinetic data and approved veterinary drugs for most non-domestic species. With fewer than ten compounds approved for zoo species versus nearly 300 for cattle, clinicians must rely on dose extrapolation from domestic animals or humans—a necessary but risky practice. This narrative review synthesizes literature from 2000 to 2026 to evaluate current extrapolation methods, including simple mg/kg scaling, physiology-based scaling, and allometric scaling of pharmacokinetic parameters. We document how species-specific differences in anatomy, physiology, metabolism, and formulation affect drug absorption, distribution, metabolism, and elimination (ADME), rendering extrapolation unreliable. Key challenges include unique metabolic pathways in birds and reptiles, behavioral adaptations that mask therapeutic responses, logistical difficulties in non-cooperative species, and regulatory gaps that leave clinicians without evidence-based guidance. Educational deficits compound the issue: surveys indicate most veterinarians lack confidence in treating exotic species and rate their training as inadequate. Clinical consequences are significant, with high rates of emergency presentations and euthanasia in exotic patients. Despite these obstacles, solutions exist. Rigorous pharmacokinetic studies in species like elephants demonstrate what is achievable with institutional commitment and collaboration. Metabolomics and minimally invasive sampling offer promising approaches for generating species-specific data with minimal animal stress. Phylogenetic pharmacokinetic models can predict drug behavior in unstudied species using data from closely related taxa. Systematic clinical data collection, collaborative databases, and transparent documentation of outcomes—including treatment failures—can gradually build the evidence base clinicians urgently need. Moving from guesswork to evidence-based practice requires collective investment in education, research, and data infrastructure. The pharmacological gap in exotic animal medicine is not immutable, but it is solvable.

Keywords: allometric scaling, pharmacokinetics, exotic animals, zoo animals, dose extrapolation, interspecies scaling, zoological pharmacology

**ASSESSMENT OF THE MECHANICAL AND ENVIRONMENTAL
PERFORMANCE OF ECO-BINDERS FOR THE TREATMENT OF ONSHORE OIL
DRILLING CUTTINGS BY STABILISATION/SOLIDIFICATION**

Dr. Yousra ZIANE
Dr. Ouahiba Hadjam
Pr. Ouahida BENSEBIA

Laboratory of Industrial Process and Engineering, Dept. of Chemical Engineering and
Cryogenics, Faculty of Mechanical and Process Engineering, Univ. of Sciences and
Technology Houari Boumediene, BP 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Algiers 16111, Algeria.
<https://orcid.org/0009-0004-1133-2497>

Abstract

This scientific contribution forms part of an initiative to promote the ecological recovery of oil-based onshore oil drilling residues through the development of sustainable cementitious matrices. The main objective is to partially replace Portland cement with local eco-materials, namely natural pozzolan (POZ), blast furnace slag (BFS) and metakaolin (MK), in order to ensure the effective encapsulation of the major pollutants: chlorides (Cl^-) and total petroleum hydrocarbons (TPH). The influence of the incorporation rate of the waste materials, the nature of the mineral additive and the curing time has been rigorously analysed. The experimental results reveal that formulations incorporating metakaolin, pozzolan and slag significantly optimise compressive strength. The metakaolin-based system stood out for its remarkable improvement in both short- and long-term mechanical properties, showing gains in strength at 28 days exceeding 60 per cent, and stabilising at around 51 per cent after 90 days of curing. Furthermore, leaching tests confirm rigorous stabilisation of contaminants, with retention rates for hydrocarbon (TPH) reaching 99.55% for the MK matrix, whilst chloride retention exceeded the 66% threshold. Microstructural investigations (SEM/XRD) validate these results through densification of the matrix linked to the increased formation of hydrated calcium silicates.

Keywords: Petroleum drill cuttings, Blast furnace slag, Metakaolin, Natural pozzolan, Hydrocarbons, Chlorides, Environmental treatment.

TURKIC AMAZONS AS A MODEL OF SOCIAL JUSTICE: RECONSTRUCTING MEANING IN THE CHUVASH LINGUISTIC AND FOLKLORE TRADITION

Elizaveta N. Dolgova

PhD student, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov;
Scientific Secretary, Chuvash National Academy of Sciences and Arts (Cheboksary, Russia)

ORCID: 0009-0009-8756-7678

Abstract

The image of the female warrior in Turkic culture has thus far been interpreted primarily as an ethnographic curiosity or a military-historical phenomenon. However, its philosophical content — especially in terms of social justice — remains unexplored. This paper proposes a new perspective: to view this image not as an exception, but as an indicator of the ontological status of women in archaic society.

The main challenge of the study is methodological. How can we analyze meanings encoded in language and folklore if the researcher does not belong to that tradition? The author, being a native speaker of Chuvash, employs the position of the insider observer as an epistemological tool that allows revealing layers of meaning inaccessible to external analysis.

The study will compare data from Chuvash linguistic semantics, archaeological materials from female burials with weapons, and ethnographic parallels, including elements of traditional costume and local legends. The central question is: what type of social justice does this tradition reflect, and can we speak of a consciously constructed model of the distribution of duties, in which the defense of the clan is not a privilege but an ontological duty of women?

Answering this question requires not merely description, but philosophical reconstruction. Its logic and results will be presented in the main paper.

Keywords: Amazons, Turkic female warriors, social justice, Chuvash language, philosophical reconstruction, archaeology, gender balance, nomadic societies.

**THE RIGHT TO CARE FOR OLDER PERSONS AS A FUNDAMENTAL RIGHT:
ANTI-AGEISM AND COMPREHENSIVE PROTECTION PURSUANT TO
BRAZILIAN LAWS NO. 15,069/2024 AND NO. 10,741/2003**

Deilton RIBEIRO BRASIL¹⁷
University of Itaúna (UIT)

ABSTRACT:

This paper aims to analyze the right to care for older persons as a fundamental right within the integrated legal framework established by Brazilian Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003, with particular emphasis on the normative role of the principle of anti-ageism. Specifically, it seeks to examine how the principles, objectives, and guidelines of the National Care Policy interact with the statutory guarantees of comprehensive protection, human dignity, autonomy, non-discrimination, absolute priority, and protection against neglect and violence. The research problem consists in determining whether the combined interpretation of these legal instruments is capable of strengthening the effective protection of older persons and ensuring access to adequate, inclusive, and rights-based care. The hypothesis is that the normative interaction between Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003 consolidates a coherent and complementary legal framework that reinforces the recognition of the right to care as a fundamental right and enhances the protection of older persons against age-based discrimination and structural inequalities. The hypothetical-deductive method is adopted to test this assumption. The methodological procedures comprise qualitative, legal-dogmatic, bibliographic, and documentary research, based on the systematic and integrated analysis of both statutes. Preliminary results indicate that the National Care Policy expands and operationalizes the protective guarantees established by the Statute of the Older Person by incorporating anti-ageism, shared responsibility, intersectoral governance, accessibility, and the promotion of autonomy. However, the effective realization of the right to care depends on adequate funding, institutional coordination, decentralized implementation, and continuous public policies.

KEYWORDS: Older Persons; Right to Care; Anti-Ageism; Fundamental Rights; Comprehensive Protection; National Care Policy.

1. BACKGROUND ISSUES.

The recognition of care as a legal and social issue has acquired increasing relevance in contemporary debates on fundamental rights, social protection, ageing, and equality. In the case of older persons, care cannot be reduced to assistance provided in situations of dependency, illness, or vulnerability. It must also be understood in connection with human dignity, autonomy, independence, non-discrimination, social participation, and the conditions necessary for a dignified ageing process. This perspective becomes particularly significant in legal systems that seek to move beyond just protective or paternalistic approaches and instead

¹⁷ Post Doctoral studies at University of Coimbra (UC), Portugal and Università Degli Studi di Messina (UNIME), Italy. PhD in Law from Gama Filho University, Rio de Janeiro (RJ). Professor in the Bachelor's Law Course, Master's and Doctoral Programs in the Protection of Fundamental Rights at University of Itaúna (UIT), Brazil, South America. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7268-8009>. E-mail: deiltonribeiro@uit.br

recognize older persons as rights holders entitled to comprehensive and inclusive public policies.

In Brazil, this debate has gained renewed normative importance with the enactment of Law No. 15,069/2024, which instituted the National Care Policy and expressly recognized the right to care. The statute adopts a broad conception according to which the right to care encompasses the right to be cared for, to provide care, and to exercise self-care, while also establishing State responsibility, social co-responsibility, intersectoral implementation, accessibility, territorialization, and the progressive realization of care policies. Its normative structure also incorporates equality-oriented principles, including non-discrimination, autonomy, independence, and anti-ageism, thereby providing a relevant framework for examining the situation of older persons within care policies.

This legal development must be interpreted together with Law No. 10,741/2003 (Statute of the Older Person), which establishes a comprehensive protection system based on dignity, freedom, respect, health protection, family and community life, prevention of rights violations, and absolute priority in the formulation and implementation of public policies. The statute further imposes duties upon the State, society, the community, and families and provides specific mechanisms intended to prevent neglect, discrimination, violence, and other forms of violation of the rights of older persons.

The interaction between these two statutes creates an important field of legal analysis. While Law No. 10,741/2003 provides the specific framework of comprehensive protection for older persons, Law No. 15,069/2024 introduces a broader legal architecture of care based on shared responsibility, interdependence, accessibility, intersectoral governance, and the recognition of multiple structural inequalities. Particularly relevant is the inclusion of older persons who require assistance, support, or help with basic and instrumental activities of daily living among the priority groups of the National Care Policy. This normative convergence raises the question of whether the new care framework only complements existing social protection or whether it strengthens the recognition of care itself as a fundamental-rights concern.

The issue also requires attention to anti-ageism as a normative principle. Age-based discrimination can manifest not only through explicit exclusion, but also through paternalistic practices, the denial of autonomy, invisibility in public policies, and assumptions that associate ageing exclusively with dependency or incapacity. The express incorporation of anti-ageism into the principles of Law No. 15,069/2024, together with the protections against discrimination, neglect, and violence already contained in Law No. 10,741/2003, provides a legal basis for interpreting care as a rights-based practice that must preserve autonomy, dignity, participation, and equality rather than reinforce stereotypes about older age.

From this perspective, the research problem consists in determining whether the combined interpretation of Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003 is capable of strengthening the effective protection of older persons and ensuring access to adequate, inclusive, and rights-based care. The problem therefore involves more than identifying isolated statutory guarantees. It requires examining whether the principles, objectives, and mechanisms established by the National Care Policy can operate in conjunction with the comprehensive protection framework of the Statute of the Older Person in order to reinforce legal responses to age-based discrimination, structural inequalities, and failures in the provision of care.

The research is based on the hypothesis that the normative interaction between the two statutes consolidates a coherent and complementary legal framework capable of reinforcing the recognition of the right to care as a fundamental-rights issue and enhancing the protection of

older persons against age-based discrimination and structural inequalities. Under this hypothesis, the National Care Policy does not replace the protective guarantees already established by the Statute of the Older Person; rather, it expands their practical and institutional scope by introducing principles and mechanisms related to shared responsibility, accessibility, intersectoral governance, territorial implementation, autonomy, and anti-ageism.

The general objective of this study is to analyze the right to care for older persons as a fundamental right within the integrated legal framework established by Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003. The specific objective is to examine how the principles, objectives, and guidelines of the National Care Policy interact with the statutory guarantees of comprehensive protection, human dignity, autonomy, non-discrimination, absolute priority, and protection against neglect and violence.

Methodologically, the research adopts the hypothetical-deductive method, which is appropriate for testing whether the proposed normative interaction between the two statutes effectively supports the recognition of care as a fundamental-rights concern and strengthens the protection afforded to older persons. The methodological procedures are qualitative, legal-dogmatic, bibliographical, and documentary, based principally on the systematic and integrated interpretation of Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003. The hypothetical-deductive approach makes it possible to confront the initial proposition with the normative content of both statutes and to assess whether their combined application provides a coherent legal basis for comprehensive, inclusive, and rights-based care.

Preliminary results indicate that Law No. 15,069/2024 expands and operationalizes important elements of the protective framework established by Law No. 10,741/2003, particularly through anti-ageism, shared responsibility, accessibility, intersectoral governance, territorialization, and the promotion of autonomy. At the same time, the effective realization of the right to care depends on factors that go beyond formal legal recognition, including adequate funding, institutional coordination, decentralized implementation, and continuity of public policies. Accordingly, the study proceeds from the premise that the consolidation of the right to care for older persons requires not only legal guarantees, but also institutional arrangements capable of transforming those guarantees into effective protection and substantive equality.

DISCLAIMER: This research made restricted use of artificial intelligence (AI) tools exclusively as auxiliary support for grammatical revision, textual organization, technical translation, and terminological standardization. All analytical content, the formulation of the research problem and hypothesis, the definition of the general and specific objectives, the selection and application of the hypothetical-deductive method, the legal interpretation of Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003, and the final conclusions were independently developed by the author. All stages of the research process were conducted under human supervision, thereby ensuring scientific reliability, authorial responsibility, and the intellectual autonomy of the manuscript.

2. THE RIGHT TO CARE, ANTI-AGEISM, AND THE COMPREHENSIVE PROTECTION OF OLDER PERSONS.

The legal construction of the right to care for older persons in Brazil must begin with the constitutional framework established by the Federal Constitution of 1988. Although the Federal Constitution does not expressly formulate an autonomous “right to care,” its fundamental principles and social rights provide a normative basis for understanding care as a condition for the effective protection of human dignity and fundamental rights. The Article 1, III establishes

human dignity as a foundation of the Brazilian Rule of Law, while Article 3, I and items III-IV identifies the construction of a free, just, and solidary society, the reduction of social and regional inequalities, and the promotion of the well-being of all without prejudice based, among other grounds, on age, as fundamental objectives of the Republic. The Article 5 guarantees life, freedom, equality, and security and, through paragraph 2, establishes an open clause of fundamental rights by providing that the rights expressly recognized in the Federal Constitution of 1988 do not exclude others arising from its constitutional regime and principles or from international treaties to which Brazil is a party. The Article 6 complements this framework by recognizing health, food, housing, transportation, social security, and assistance to those in need as social rights (Brazil, 1988).

The constitutional connection between care and social protection becomes even clearer in the Articles 196, 198, 203, 229, and 230. The Article 196 defines health as a right of all and a duty of the State, to be guaranteed through social and economic policies directed toward risk reduction and universal and equal access to health promotion, protection, and recovery. The Article 198, II requires comprehensive care, with priority given to preventive activities. The Article 203, I includes the protection of old age among the objectives of social assistance, while the Article 229 establishes a duty of adult children to assist and support their parents in old age, need, or illness. Most importantly for the present analysis, the Article 230 assigns to the family, society, and the State the duty to support older persons, ensure their participation in the community, defend their dignity and well-being, and guarantee their right to life (Brazil, 1988). This constitutional framework is further specified by Law No. 10,741/2003 (Statute of the Older Person). The Article 2 recognizes that older persons enjoy all fundamental rights inherent to the human person, without prejudice to the comprehensive protection established by the statute, under conditions of freedom and dignity. The Article 3 imposes upon the family, community, society, and public authorities the duty to ensure, with absolute priority, rights including life, health, education, citizenship, freedom, dignity, respect, and family and community life. Such priority includes preference in the formulation and implementation of specific social policies, privileged allocation of public resources, professional training in geriatrics and gerontology, and dissemination of educational information concerning ageing. The Article 4 additionally prohibits neglect, discrimination, violence, cruelty, and oppression and establishes a general duty to prevent threats to or violations of the rights of older persons (Brazil, 2003).

The protective logic of Law No. 10,741/2003 must nevertheless be interpreted in a manner that preserves the older person as a holder of rights rather than transforming protection into a justification for the suppression of autonomy. The Article 9 requires the State to guarantee life and health through public policies capable of enabling healthy and dignified ageing. Article 10 expressly safeguards freedom, respect, dignity, participation in family and community life, and the preservation of autonomy, while the Article 15 guarantees comprehensive healthcare through the Unified Health System, including prevention, promotion, protection, and recovery. These provisions demonstrate that comprehensive protection encompasses not only assistance in situations of need but also the preservation of the capacity of older persons to exercise rights, make choices, participate in social life, and maintain their individuality (Brazil, 2003)

The relationship between protection and autonomy is particularly important because the mere classification of older persons as inherently vulnerable may itself reproduce age-based stereotypes. Langmann (2023, p. 133) questions precisely this generalized association between older age and vulnerability. The author argues that ageing is heterogeneous and that it is illegitimate to infer increased vulnerability just from chronological age. According to her

analysis, identifying older persons indiscriminately as a vulnerable group can be connected with ageism, paternalistic benevolence, and overprotection, especially within healthcare settings. Vulnerability should therefore not be treated as an inherent attribute of older age, since doing so risks linking ageing automatically with frailty, dependence, incapacity, or loss of autonomy. This distinction has direct implications for the legal meaning of care. Langmann (2023, p. 139) demonstrates that ageist stereotypes may cause health professionals to interact paternalistically with older persons and may generate what the author describes as pathogenic vulnerability. Rather than originating necessarily in the characteristics of older persons themselves, vulnerability may arise from social relationships, institutional practices, prejudice, and ageism. Consequently, comprehensive protection should identify actual situations of need without converting age into a presumption of incapacity.

This approach becomes even more relevant when Langmann's conclusions are considered. The author argues for the recognition of the heterogeneity of ageing, the active fight against ageism, the inclusion of ageism in professional education and training, and the development of non-paternalistic forms of healthcare. Particularly significant is the proposition that autonomy must continue to be promoted even where assistance and care are necessary and that care should be oriented toward individual needs rather than chronological age itself (Langmann, 2023, p. 140). Thus, a person may require support without ceasing to be autonomous, and the need for care cannot in itself justify substituting the person's choices or disregarding individual life projects. The enactment of Law No. 15,069/2024, which instituted the National Care Policy, provides an important normative development in this direction. The Article 1 expressly establishes that everyone has a right to care and specifies that this right encompasses the right to be cared for, to provide care, and to exercise self-care. The Article 2 defines the National Care Policy as a State duty, in co-responsibility with families, the private sector, and civil society, and the Article 4 adopts an integral and integrated conception of care while requiring public policies to confront multiple structural inequalities in access to this right (Brazil, 2024). The legislation consequently moves care beyond an exclusively private or family responsibility and places it within an institutional framework of public duties and shared social responsibility.

This framework is especially important for an anti-ageist interpretation of the right to care. The Article 6 of Law No. 15,069/2024 expressly establishes respect for dignity and human rights, equity and non-discrimination, autonomy and independence, anti-ageism, interdependence, family and community life, respect for people's abilities and interests, and responsive care among the principles of the National Care Policy. The Article 7 adds comprehensiveness, intersectorality, accessibility, territorialization, decentralization, participation, continuing education, and the coordinated operation of public policies throughout the life course (Brazil, 2024). These principles establish a particularly significant normative connection between the right to care and the preservation of autonomy: care must respond to concrete needs while respecting the person receiving it as an autonomous rights holder.

The formulation of the priority group in the Article 8, item II of Law No. 15,069/2024 reinforces this interpretation. The provision does not classify all older persons as automatically dependent or inherently vulnerable. Instead, it identifies as a priority group those older persons who need assistance, support, or help to perform basic and instrumental activities of daily living (Brazil, 2024). This distinction is legally relevant because it ties priority in care policy to actual needs for assistance rather than to chronological age alone. Read together with the principles of autonomy, independence, non-discrimination, and anti-ageism, the provision supports a

differentiated model of protection that recognizes situations of dependency without converting ageing itself into a presumption of incapacity.

The importance of this anti-ageist framework is supported by the empirical findings concerning healthcare practices. Araújo *et al.* (2023, p. 2) explain that ageism encompasses stereotypes, prejudice, and discriminatory behavior and show that negative representations of older persons as frail, dependent, non-productive, or incapable can influence both perceptions and concrete treatment. In healthcare, ageism may restrict access to care, diagnosis, and treatment and may also operate at the institutional level through rules, policies, protocols, and practices that limit opportunities available to older persons.

The practical consequences identified by Araújo *et al.* (2023, pp. 11-12) demonstrate why anti-ageism cannot remain merely a declaratory principle. Their review identifies interpersonal manifestations of ageism during care provision, including inadequate communication, disrespectful treatment, disregard for privacy and individual specificities, and the transfer of care responsibilities to families. At the institutional level, ageism may depersonalize older persons and create barriers to surgical procedures, rehabilitation, medication, and other treatments, as well as unjustified delays, lower levels of assistance, and prioritization of younger persons. These findings show that discrimination can affect not only access to care but also its quality, intensity, and orientation.

Education represents another relevant dimension of this transformation. Machado and Brasil (2022, p. 213) observe that population ageing requires greater preparation of society and professionals who provide services to older persons. The authors identify persistent representations of older persons as unproductive and insufficiently valued and argue that gerontological education can contribute to improved social interaction, the effective implementation of social rights, social inclusion, community participation, and empowerment. Their analysis is particularly relevant because it connects the effectiveness of legal protection with changes in professional education and social perceptions of ageing.

The educational dimension also has an express statutory basis. Machado and Brasil note that Law No. 10,741/2003, in the Article 22, requires formal education curricula to incorporate content concerning the ageing process, respect for and appreciation of older persons, the elimination of prejudice, and the production of knowledge concerning ageing (Machado & Brasil, 2022, p. 219). In this respect, combating ageism is not limited to prohibiting discriminatory conduct after it occurs. It also requires preventive measures capable of changing the cultural assumptions from which stereotypes and discriminatory practices originate.

The interaction among these constitutional, statutory, and theoretical elements makes it possible to distinguish comprehensive protection from paternalistic protection. Comprehensive protection requires that concrete vulnerabilities, dependencies, and care needs be recognized and adequately addressed. Paternalistic protection, by contrast, arises when chronological age is used to presume incapacity, suppress autonomy, disregard preferences, or exclude older persons from decisions concerning their own lives. The Federal Constitution of 1988, Law No. 10,741/2003, and Law No. 15,069/2024 support the former model by connecting protection with dignity, equality, participation, autonomy, independence, non-discrimination, and shared responsibility. In this sense, care becomes rights-based precisely when the need for protection does not erase autonomy, and the recognition of vulnerability does not become a justification for age-based discrimination.

3. THE EFFECTIVENESS OF THE RIGHT TO CARE FOR OLDER PERSONS: SHARED RESPONSIBILITY, INTERSECTORAL GOVERNANCE, AND PUBLIC POLICY IMPLEMENTATION.

The recognition of the right to care does not exhaust the legal obligations arising from its incorporation into the Brazilian legal system. Its effectiveness depends on the existence of institutional, financial, organizational, and participatory mechanisms capable of transforming normative guarantees into accessible and continuous public policies. In this respect, Law No. 15,069/2024 represents an important development because the Article 2 defines the National Care Policy as a duty of the State, encompassing the Federal Government, the States, the Federal District, and the Municipalities, within their respective competences, in co-responsibility with families, the private sector, and civil society. The Article 3 further determines that the policy shall be implemented transversally and intersectorally through the National Care Plan (Brazil, 2024).

This model of shared responsibility is particularly relevant in view of the transformations affecting the provision of care in Brazil. Camarano (2020, p. 7) observes that increasing demand for long-term care occurs simultaneously with a reduction in the availability of family caregivers, influenced by changes in fertility, women's participation in the labor market, marital patterns, and family arrangements. The author also emphasizes that structural social inequalities affect both health conditions and access to basic services. These dicta demonstrate that a care system centered predominantly on the family may become insufficient when demographic and socioeconomic changes reduce households' capacity to provide the support required by older persons.

The empirical dimension of this problem is reinforced by Camarano's analysis of care provision. The study indicates that approximately 20% of older persons who reported needing care did not receive it and also reveals gender inequalities in the provision and receipt of care. At the same time, Brazilian families were the principal providers of care for older persons with functional limitations, with most assistance being provided by unpaid family members (Camarano, 2020, pp. 9-10). Read in conjunction with Law No. 15,069/2024, these findings reinforce the importance of a model of social co-responsibility in which care is not assigned exclusively to families. Rather, the Law defines the National Care Policy as a duty of the State in co-responsibility with families, the private sector, and civil society and understands social co-responsibility as the sharing of care responsibilities among these actors (Brazil, 2024).

This interpretation is consistent with Law No. 10,741/2003 (Statute of the Older Person). The Article 3 establishes the duty of the family, community, society, and public authorities to ensure the rights of older persons with absolute priority, including priority in the formulation and implementation of specific social policies and privileged allocation of public resources. Moreover, the Article 46 provides that the policy for older persons shall be carried out through an articulated set of governmental and non-governmental actions at the federal, state, Federal District, and municipal levels, while the Article 47 identifies social policies, social assistance policies, and special prevention and care services among its lines of action (Brazil, 2003). The Statute therefore already contained an articulation-based model of protection that is expanded and systematized by the National Care Policy.

The effectiveness of this model nevertheless depends upon coordination among the different sectors involved. Souza and Machado (2018, p. 3190) emphasize that ageing is a complex and multifaceted phenomenon requiring broad public policies capable of considering older persons, families, communities, and their social contexts. The authors identify intersectorality - the joint

construction of policies and actions among areas such as health, social assistance, and human rights - as one of the principal challenges for social protection and quality of life in old age. They also define governance as involving not only governmental actors but also social participation, networks, dialogue, and mechanisms for coordinating traditionally fragmented institutions and processes.

These considerations find a direct normative counterpart in the Article 7 of Law No. 15,069/2024, which establishes comprehensiveness, transversality, intersectorality, participation and social control, accessibility, territorialization, decentralization, interfederative articulation, and continuing education among the guidelines of the National Care Policy. The statute also requires permanent and coordinated action among health, social assistance, human rights, education, employment and income, sport, leisure, culture, mobility, and social security policies (Brazil, 2024). In this regard, intersectorality is not just an administrative option; it constitutes one of the legal conditions for implementing the right to care through policies capable of addressing the multiple dimensions of older persons' needs.

Particular importance must also be attributed to the Article 8, item II of Law No. 15,069/2024, which expressly includes older persons who require assistance, support, or help in performing basic and instrumental activities of daily living among the priority groups of the National Care Policy (Brazil, 2024). The provision has a significant operational function because it connects the general recognition of the right to care with the identification of concrete needs that require public intervention. This approach is consistent with Camarano's dictums that care demand is associated with functional limitations and socioeconomic conditions and that its incidence tends to increase among the oldest segments of the population (Camarano, 2020, p. 9).

The implementation of the right to care also requires attention to the situation of caregivers themselves. Camarano demonstrates that family care generates economic, professional, social, and health-related costs that often remain invisible because this work is performed within the domestic sphere. The study therefore calls upon the State to assume its share of responsibility for older persons requiring care and for their caregivers, particularly unpaid family caregivers (Camarano, 2020, p. 11). Among the measures proposed by the author are income and social protection, monitoring of caregivers' health conditions, professional qualification, intersectoral training, support for self-care, and respite mechanisms through formal home-care services (Camarano, 2020, p. 12).

These proposals are closely aligned with the objectives of Law No. 15,069/2024, which includes the recognition, reduction, and redistribution of unpaid care work, the promotion of decent work for paid care workers, and the confrontation of structural inequalities in access to care. The National Care Plan provided for in the Article 9 must contain actions, goals, indicators, instruments, periods of validity and review, and the identification of responsible bodies and entities. It must also include measures aimed at expanding and qualifying care services, supporting unpaid caregivers, improving data, and integrating public and private care networks (Brazil, 2024). Thus, the effectiveness of care depends upon planning instruments capable of converting statutory objectives into measurable governmental commitments.

The relevance of institutional governance becomes clearer when confronted with the limitations identified in previous policies for older persons. Souza and Machado (2018, p. 3199) found that although governance structures based on interaction between the State and civil society strengthened institutionalization and participation, they encountered difficulties in transforming deliberations into concrete actions. Among the obstacles identified were dispersed and scarce resources, insufficient involvement of governmental agencies, institutional and political

constraints, and difficulties in coordinating different sectors. Their analysis is particularly instructive for the implementation of the National Care Policy because it demonstrates that the formal creation of governance mechanisms does not, by itself, ensure the effectiveness of legally recognized rights.

Indeed, that intersectorality is fundamental to the advancement of policies for older persons because their needs encompass several dimensions, including long-term care, social assistance networks, housing, mobility, and education. However, difficulties in coordination and insufficient prioritization of ageing within governmental institutions may impede the realization of legally protected rights. The authors consequently maintain that governance structures, although relevant, are not sufficient per se to guarantee the effectiveness of the constitutional and statutory protection afforded to older persons (Souza & Machado, 2018, p. 3199).

The Law No. 15,069/2024 seeks to respond institutionally to these challenges. The Article 10 provides for a multisectoral and intersectoral approach by the Federal Government, States, Federal District, and Municipalities; The Article 11 requires a governance structure for the National Care Plan based on intersectorality, interfederative articulation, participation, and social control; and its sole paragraph requires decentralized and coordinated implementation among the different federative levels. The Article 12 authorizes cooperation agreements with public and private entities, while the Article 13 establishes funding through federal budget appropriations, state, district, and municipal resources, donations, and other legally compatible national or international sources (Brazil, 2024). The legal architecture therefore combines planning, coordination, decentralization, cooperation, and financing as mutually dependent elements of implementation.

The distinction between formal recognition and effective realization of fundamental rights also appears in the analysis developed by Campos *et al.* (2018, p. 50, 61-64). Although their study specifically concerns the fundamental right to housing, the authors formulate a broader proposition relevant to the present research: the effectiveness of a fundamental social right involves both the State and society through public policies, while inefficient management of public resources may hinder the full realization of a constitutionally protected right. Their contribution is used here not to attribute to them a theory of the right to care, which their study does not address, but to support the general distinction between the legal recognition of a fundamental right and the public measures required for its material effectiveness.

The same authors conclude that the realization of fundamental rights depends on the creation and application of adequate public-policy instruments and on the participation of society in their democratic construction (Campos *et al.*, 2018, p. 64). Applied to the National Care Policy, this proposition reinforces the need for effective participation and social control, both of which are expressly incorporated into Law No. 15,069/2024. The right to care therefore cannot be evaluated exclusively by reference to the existence of legal provisions; its effectiveness must also be assessed through the implementation, financing, monitoring, and accessibility of the services and programs established under the National Care Plan.

Accordingly, the combined interpretation of Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003 (Statute of the Older Person) indicates that the effectiveness of the right to care depends on shared responsibility, intersectoral and interfederative coordination, adequate financing, and social participation in the formulation, implementation, and monitoring of public policies. The consolidation of this right therefore requires the transformation of statutory guarantees into stable, coordinated, adequately funded, territorially accessible, and continuously evaluated

policies, capable of giving material effect to the comprehensive and priority protection of older persons.

4. IN LIEU OF A CONCLUSION.

This research examined the right to care for older persons as a fundamental right within the integrated legal framework established by Law No. 15,069/2024 (Establishes the National Care Policy) and Law No. 10,741/2003 (Statute of the Older Person), with particular attention to anti-ageism, comprehensive protection, autonomy, non-discrimination, and the effectiveness of public policies. The general objective was to analyze the right to care for older persons as a fundamental right through the systematic interaction between these two statutes, while the specific objective was to examine how the principles, objectives, and guidelines of the National Care Policy interact with the guarantees of comprehensive protection, human dignity, autonomy, non-discrimination, absolute priority, and protection against neglect and violence. Both objectives were achieved within the normative, bibliographical, and documentary scope of the study.

The analysis demonstrated that the constitutional foundation of the right to care does not arise from an express autonomous provision in the Brazilian Federal Constitution of 1988, but from a systematic interpretation of human dignity, equality, social rights, health protection, social assistance, solidarity, and the specific constitutional protection afforded to older persons. This constitutional basis is further developed by Law No. 10,741/2003, which establishes comprehensive and priority protection, and by Law No. 15,069/2024, which expressly recognizes the right to care and incorporates autonomy, independence, non-discrimination, anti-ageism, shared responsibility, accessibility, and intersectorality into the National Care Policy. The research problem asked whether the combined interpretation of Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003 is capable of strengthening the effective protection of older persons and ensuring access to adequate, inclusive, and rights-based care. The results achieved provide an affirmative answer. The interaction between the two statutes creates a complementary legal framework in which comprehensive protection is connected to anti-ageism and to a conception of care that must preserve dignity, autonomy, participation, and equality rather than reproduce assumptions of incapacity or dependency based exclusively on chronological age.

The research hypothesis maintained that the normative interaction between Law No. 15,069/2024 and Law No. 10,741/2003 consolidates a coherent and complementary legal framework capable of reinforcing the recognition of the right to care as a fundamental-rights issue and enhancing the protection of older persons against age-based discrimination and structural inequalities. Within the methodological boundaries of the survey, the hypothesis was confirmed. The National Care Policy does not replace the protection already established by the Statute of the Older Person; rather, it expands its institutional and operational dimensions through shared responsibility, anti-ageism, accessibility, intersectoral governance, territorialization, participation, and the promotion of autonomy.

Besides, the dicta indicate that the consolidation of the right to care for older persons requires the transformation of statutory guarantees into stable, coordinated, adequately funded, territorially accessible, and continuously evaluated public policies. The implementation of Law No. 15,069/2024 should therefore combine shared responsibility with intersectoral and interfederative governance, decentralized implementation, adequate financing, participation, social control, professional qualification, support for paid and unpaid caregivers, and the

effective integration of health, social assistance, human rights, mobility, education, employment, and other relevant policies.

The hypothetical-deductive method was particularly important to the development of the research because it allowed the initial hypothesis to be confronted with the constitutional framework, the provisions of the two statutes, and the bibliographical and documentary evidence examined throughout the study. Rather than presuming that the National Care Policy necessarily strengthens the protection of older persons, the method made it possible to test whether the normative interaction between the statutes effectively supports this conclusion. The hypothetical-deductive approach therefore enabled the study to move beyond a descriptive examination of legislation and to evaluate critically both the legal potential of the new framework and the conditions required for its effectiveness.

The research nevertheless presents relevant limitations. Its qualitative, legal-dogmatic, bibliographical, and documentary design does not include field research with older persons or caregivers, quantitative measurement of access to care, or empirical evaluation of the implementation of the National Care Policy. Moreover, Law No. 15,069/2024 is a recent statute, which limits the possibility of assessing its long-term institutional effectiveness and the concrete results of the National Care Plan. The study is also restricted to the Brazilian legal framework and does not undertake a comparative analysis with foreign care systems. Finally, the characterization of care as a fundamental right results from a systematic constitutional interpretation, since the Brazilian Federal Constitution of 1988 does not expressly establish an autonomous right to care.

Under these limitations, the research concludes that the general objective and the specific objective were achieved, the research problem was answered affirmatively, and the hypothesis was confirmed. The main contribution of the study lies in demonstrating that the right to care for older persons should be understood through an anti-ageist and rights-based perspective in which protection does not eliminate autonomy and care is not reduced to family responsibility. The integrated application of Law No. 15,069/2024 (Establishes the National Care Policy) and Law No. 10,741/2003 (Statute of the Older Person) provides a coherent legal basis for combining comprehensive protection, substantive equality, autonomy, shared responsibility, and effective public policies, thereby strengthening the conditions for dignified ageing and the material realization of the fundamental rights of older persons.

5. REFERENCES:

- Araújo, P. O., Soares, I. M. S. C., Vale, P. R. L. F., Sousa, A. R., Aparicio, E. C., & Carvalho, E. S. S. (2023). Ageism directed to older adults in health services: A scoping review. *Latin American Journal of Nursing*, 31, e4020. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.6727.4020>
- Brazil. (1988). Constitution of the Federative Republic of Brazil. *Official Gazette of the Union*, 05 November 1988. Brasília, Federal District. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Brazil. (2003). Law No. 10,741 of October 1, 2003: Provides for the Statute of the Older Person and establishes other provisions. Presidency of the Republic, *Official Gazette of the Union*, Section 1, October 3, 2003, pp. 1-6. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.741.htm
- Camarano, A. A. (2020). Care for the older population and their caregivers: Demands and alternatives (Technical Note No. 64). *Institute for Applied Economic Research (Ipea)*. <https://repositorio.ipea.gov.br/items/b60344ae-cacd-4cda-ab4d-99813af62fb6>

- Campos, A. T. A., Brasil, D. R., & Meneghetti, R. R. (2018). The fundamental right to housing in the current context of sustainable development. In C. M. de Oliveira, P. L. Colenci, & M. Britto (Eds.), *New rights: Law and public policies* (pp. 49-65). Permanent Commission for Official and Institutional Publications, Federal University of São Carlos (CPOI/UFSCar). https://www.ceda.ufscar.br/pt-br/assets/arquivos/NOVOSDIREITOS_DireitoePoliticasPublicas.pdf
- Langmann, E. (2023). Vulnerability, ageism, and health: Is it helpful to label older adults as a vulnerable group in health care? *Medicine, Health Care and Philosophy*, 26(1), 133-142. <https://doi.org/10.1007/s11019-022-10129-5>
- Machado, A. J. O., & Brasil, D. R. (2022). The importance of gerontological education as a subject in higher education for the implementation of public policies for the social inclusion of older persons. In F. V. Costa, I. D. Motta, & S. H. Z. Freitas (Eds.), *Legal education and freedom to teach in the Democratic Rule of Law* (pp. 212–232). Editora Fi. Available at: <https://www.editorafi.org/ebook/454liberdade>. DOI: <https://doi.org/10.22350/9786559174546>
- Souza, M. S. e, & Machado, C. V. (2018).** Governance, intersectoriality and social participation in public policy: The National Council on the Rights of the Elderly. *Science & Collective Health*, 23(10), 3189-3200. <https://doi.org/10.1590/1413-812320182310.14112018>

RESHAPING TEACHER EDUCATION: PERCEIVED ROLE AND EFFECTIVENESS OF AI

Dr Irfan Bashir
Dr Yasira Waqar
Dr Amna Arif
Dr Afshan Naseem
Dr Aisha Sami
Dr Almas Shoaib
Dr Asma Noman
Dr Ghazala Ishrat
Dr Sajid Masood
Dr Amna Yousaf
Dr Farhat Munir
Dr Faisal Anees
Dr Aqila Rafique

Dept. of Education, University of Management and Technology, Pakistan

Abstract

The experiences, opinions, and difficulties surrounding the incorporation of artificial intelligence (AI) into teacher education are examined in this qualitative study. This research examines teachers educators' experiences, perceptions, and obstacles related to the adoption of artificial intelligence (AI) through semi-structured interviews with a varied group of educators. Through the use of the narrative inquiry technique, the research attempts to investigate the possible impact of AI on teaching practices, student learning, and the general efficacy of teaching education programs. The results show that teacher educators have a generally positive opinion of AI, and many of them are excited about how it can improve teaching methods and help pupils receive individualized learning. The ways in which AI-powered tools are implemented by teachers differ. While some teacher educators have effectively incorporated AI technologies into their teaching. Others, meanwhile, encounter obstacles like trouble using the tools or provide sufficient assistance to diversified education. Concerns over AI's ability to worsen preexisting biases and dehumanize education are voiced by some educators. The research points to both the difficulties in using AI and its potential benefits for teacher preparation, student learning, and engagement. In order to ensure successful AI integration into the field of teacher education, it is imperative that these problems be addressed.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Adaptive Pedagogies, Teacher Education, Teacher Perceptions, Student Learning, Effectiveness

DIASPORA KNOWLEDGE TRANSFER MODELS FOR ACCELERATION OF NATIONAL AI CAPABILITIES

MUHAMMAD FAISAL

Joint Director (AICU) at Ministry of IT & Telecommunication, Pakistan

ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT

Expatriate tech talent represents a critical source of capital, mentorship, and advanced technical knowledge for developing AI ecosystems. This paper analyzes structured engagement frameworks designed to leverage diaspora networks for domestic artificial intelligence growth. It examines remote advisory panels, joint research ventures, and specialized angel investment syndicates tailored for expatriate professionals. Through comparative case studies of similar diaspora initiatives in emerging economies, the paper identifies optimal incentives such as tax offsets and dual-appointment academic roles—that encourage ongoing participation in national tech advancement.

Keywords: Diaspora Engagement, Knowledge Transfer, Expatriate Capital, Mentorship Networks, Human Capital.

MACHINE INTELLIGENCE FOR MICROBIOME DNA PROFILING AND PERSONALIZED DIET THERAPEUTICS

Moses Adeolu AGOI

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Success Eniola OGBOYE

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Samuel Olayiwola AJAGA

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Oluwanifemi Opeyemi AGOI

Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.

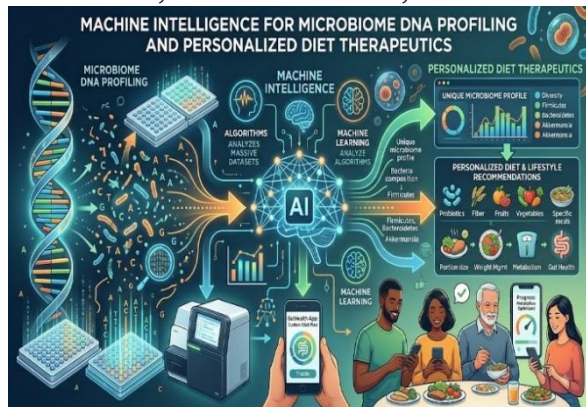
Abstract

The human gut microbiome represents a complex ecological system whose microbial composition, functional capacity, and metabolic activity influence nutrient utilization, immune regulation, energy metabolism, inflammation, and susceptibility to chronic disease. Advances in next-generation sequencing and computational biology have enabled increasingly detailed characterization of microbial DNA, creating opportunities for precision nutrition and individualized dietary intervention. However, the high dimensionality, sparsity, compositional structure, inter-individual variability, and contextual dependence of microbiome datasets create substantial analytical challenges that conventional statistical approaches may not adequately address. This paper examines the application of machine intelligence to microbiome DNA profiling for personalized diet therapeutics, emphasizing the integration of metagenomic data, dietary information, clinical variables, and machine-learning algorithms. The proposed computational framework incorporates DNA sequence pre-processing, taxonomic and functional profiling, feature selection, dimensionality reduction, predictive modelling, model interpretation, and diet-response optimization. Evidence from previous research demonstrates that individual responses to identical foods can vary considerably and that microbiome characteristics contribute to this heterogeneity, supporting the development of computationally guided personalized nutrition strategies (Zeevi et al., 2015). Large-scale microbiome initiatives have further demonstrated the feasibility of generating extensive microbial datasets for population-level analysis (McDonald et al., 2018), while recent reviews highlight the growing application of artificial intelligence to taxonomic classification, functional prediction, metabolic modelling, precision nutrition, and microbiome-based therapeutics (Wang et al., 2024). The proposed approach positions machine intelligence as an integrative decision-support layer capable of transforming microbiome DNA profiles into interpretable dietary recommendations. Such systems could contribute to precision nutrition by identifying microbial signatures associated with favourable dietary responses while supporting evidence-based, adaptive, and individualized dietary interventions.

Keywords: Artificial Intelligence; Machine Learning; Microbiome; Personalized Nutrition.

INTRODUCTION

The human gut microbiome has emerged as a critical biological system influencing nutrient metabolism, immune function, intestinal integrity, inflammation, and host metabolic health,



while substantial inter-individual differences in microbial composition help explain why people can exhibit markedly different physiological responses to the same food or dietary pattern. Conventional dietary recommendations generally emphasize population-level nutritional requirements and therefore have limited capacity to account for variation arising from microbial ecology, host phenotype, lifestyle, genetics, medication exposure, and environmental factors. The rapid development

of high-throughput sequencing, metagenomics, metabolomics, continuous physiological monitoring, and computational biology has consequently created an opportunity to move nutrition from generalized recommendations toward data-driven precision nutrition. Machine intelligence provides an important computational foundation for this transition because machine-learning and deep-learning models can integrate high-dimensional and heterogeneous microbiome, dietary, clinical, and metabolic datasets to identify nonlinear relationships that may remain difficult to detect using conventional statistical methods. Recent evidence shows that AI applications in microbiome research include taxonomic classification, functional annotation, microbial interaction analysis, metabolic modelling, disease prediction, and precision nutrition (Wang et al., 2024). Similarly, recent precision-nutrition research emphasizes that microbiome and nutritional datasets are compositional, sparse, context-dependent, and frequently high dimensional, requiring careful pre-processing, feature engineering, regularization, validation, and interpretation (Massara et al., 2026). The clinical relevance of this computational paradigm is supported by evidence that machine-learning models can predict individualized postprandial responses and thereby distinguish dietary interventions likely to produce more favourable metabolic outcomes (Zeevi et al., 2015). Contemporary work further extends this concept through microbiome health metrics, multimodal learning, and mechanistic metabolic models capable of linking dietary substrates with microbial metabolites and host-relevant outcomes (Wang et al., 2026). Accordingly, machine intelligence for microbiome DNA profiling represents an emerging interdisciplinary research domain in which computational systems transform microbial sequence information into interpretable biological features and subsequently use these features to support individualized dietary therapeutics. The objective of this paper is therefore to examine the computational foundations, evidence base, methodological architecture, predictive potential, limitations, and future research directions associated with machine-intelligence-driven microbiome profiling and personalized diet therapeutics.

LITERATURE REVIEW

Microbiome DNA Profiling and Computational Characterization

Microbiome DNA profiling provides the foundational data layer for computationally enabled personalized nutrition because it converts complex microbial communities into measurable taxonomic and functional features. Advances in shotgun metagenomic sequencing have enabled researchers to characterize microbial genomes beyond conventional 16S rRNA taxonomic

profiling, thereby providing information about species composition, microbial genes, metabolic pathways, and functional potential. The Human Microbiome Project and subsequent large-scale microbiome studies demonstrated the feasibility of generating standardized microbial datasets across multiple body sites and populations, establishing an important foundation for computational microbiome science (Human Microbiome Project Consortium, 2012). McDonald et al. (2018), through the American Gut Project, further demonstrated how large-scale citizen-science datasets could connect microbial profiles with dietary and lifestyle variables. More recent computational research emphasizes that microbiome datasets present distinctive analytical challenges because microbial abundance data are sparse, compositional, high dimensional, and influenced by sequencing depth and experimental protocols. Wang et al. (2024) reviewed AI applications across microbiome research and identified taxonomic profiling, functional annotation, microbial interaction analysis, ecological modelling, metabolic prediction, precision nutrition, and therapeutics as major application areas. Their analysis also highlighted the “small-n, large-p” problem, where the number of microbial features can greatly exceed the number of participants, increasing the risk of overfitting. Consequently, pre-processing and feature engineering are essential components of machine-intelligence pipelines. Current precision-nutrition research recommends filtering low-abundance taxa, appropriate normalization or transformation, dimensionality reduction, feature selection, and rigorous validation before predictive modelling (Massara et al., 2026). Importantly, microbiome DNA profiling should not be interpreted as a direct measurement of microbial activity; DNA primarily describes the organisms and genes present, whereas metatranscriptomics, metabolomics, and metaproteomics provide complementary evidence regarding expression, metabolic products, and functional activity. Thus, machine intelligence can increase the analytical value of microbiome DNA by transforming large sequence-derived feature spaces into biologically meaningful microbial signatures suitable for prediction, stratification, and individualized dietary decision-making.

Machine Learning for Precision Nutrition

Machine learning has become an important computational methodology for precision nutrition because dietary response is influenced by interacting biological, behavioural, environmental, and microbial factors that are difficult to represent through conventional population-level dietary models. A systematic literature review by de Ridder et al. (2021) examined 60 primary studies from an initial retrieval of 4,930 publications and identified classification, regression, clustering, and recommendation as major machine-learning tasks in precision nutrition. The review identified 30 algorithms and 23 evaluation metrics, demonstrating substantial methodological diversity across the field. Supervised learning approaches have been particularly prominent because they can predict measurable nutritional or metabolic outcomes from multidimensional participant characteristics. Logistic regression provides an interpretable baseline, whereas random forests, gradient boosting, support vector machines, neural networks, and deep-learning architectures can model nonlinear relationships among microbiome, dietary, and clinical variables. Zeevi et al. (2015) provided influential evidence that machine-learning models could predict individualized postprandial glycemic responses using clinical, dietary, and microbiome information, demonstrating that identical foods may produce substantially different glucose responses among individuals. This finding shifted precision nutrition toward predictive modelling of individual responses rather than simply classifying foods as universally beneficial or harmful. More recently, Liu (2025) described deep-learning approaches

specifically designed for microbiome-informed precision nutrition, emphasizing their capacity to represent complex nonlinear relationships and integrate microbiome-derived information with nutritional and host characteristics. However, high predictive performance alone does not establish clinical validity. Massara et al. (2026) emphasize that precision-nutrition AI must address data quality, interpretability, validation, and causal inference because nutritional and multi-omic datasets are episodic, compositional, context-dependent, and susceptible to measurement error. Therefore, machine learning should be positioned not merely as a classification technology but as an analytical framework for identifying individual response patterns and generating evidence-supported hypotheses about diet–microbiome–host interactions.

Deep Learning and Microbiome-Sequence Intelligence

Deep learning offers an advanced computational paradigm for extracting hierarchical, nonlinear, and context-dependent representations from microbiome and metagenomic data, providing capabilities that extend beyond conventional machine-learning approaches based primarily on manually engineered features. Deep neural networks can learn complex relationships directly from high-dimensional biological data, making them increasingly relevant to microbial sequence classification, functional annotation, and pathway prediction, microbial interaction modelling, and personalized nutrition. Liu (2025) emphasizes that the increasing complexity of microbiome-informed precision nutrition requires computational architectures capable of representing nonlinear interactions among microbial communities, dietary exposures, and host metabolic responses. The study discusses emerging architectures, including continuous neural ordinary differential equations, microbial neural ordinary differential equations, McMLP, and METRIC, demonstrating how deep-learning systems can progress from static prediction of microbial abundance toward modelling dynamic interactions between dietary perturbations and microbiome responses. Wang et al. (2024) similarly identify deep learning as an expanding component of microbiome research, particularly for taxonomic classification, functional prediction, microbial ecology, metabolic modelling, and microbiome-based therapeutics. The development of genomic and protein language models further expands these possibilities by treating microbial DNA, genomes, and proteins as structured biological sequences that can be represented through computational principles analogous to natural-language processing (Yan et al., 2024). Transformer-based architectures and foundation models may consequently learn relationships among microbial genes, metabolic pathways, dietary substrates, and host phenotypes at increasingly fine-grained levels. Such models could support the identification of latent microbial signatures associated with dietary response, disease susceptibility, metabolite production, and therapeutic outcomes. However, deep learning also presents important methodological challenges. Microbiome datasets commonly contain substantially more microbial and functional features than participants, creating a high-dimensional environment in which highly parameterized models may overfit training observations and perform poorly on independent populations. Differences in sequencing technologies, preprocessing pipelines, geographical populations, dietary practices, and clinical characteristics can further compromise model transferability. Deep-learning applications should therefore incorporate appropriate regularization, dimensionality control, cross-validation, external validation, explainable-AI techniques, and biologically informed feature constraints. The greatest potential may ultimately arise from hybrid computational architectures that combine deep sequence representation learning with microbiological knowledge, genome-

scale metabolic models, and mechanistic representations of host-microbiome interactions, thereby improving predictive performance while strengthening biological interpretability and translational relevance.

Diet-Gut Microbiome Interactions and Individual Response Prediction

The relationship between diet and the gut microbiome provides a central biological mechanism supporting personalized diet therapeutics. Dietary substrates influence microbial composition, microbial metabolic activity, metabolite production, and host physiological responses, while pre-existing differences in microbial communities can modify how individuals respond to the same food. Zeevi et al. (2015) demonstrated this phenomenon through individualized prediction of postprandial glycemic responses, showing that integrating microbiome information with clinical and dietary variables could support personalized food-response prediction. This work provided an important conceptual foundation for machine-intelligence-driven dietary recommendation because it demonstrated that the relevant computational target is not necessarily the nutritional value of a food in isolation but the expected physiological response of a particular individual. Recent research has substantially expanded this framework. Wang et al. (2026) describe precision nutrition as an increasingly multimodal field integrating metagenomics, metatranscriptomics, metabolomics, metaproteomics, dietary assessment, and host clinical phenotyping. Their synthesis identifies machine-learning applications including classification of habitual dietary patterns from microbiome signatures, prediction of postprandial responses, responder stratification, and simulation of dietary perturbations. The review further emphasizes microbiome health metrics and genome-scale metabolic models as mechanisms for converting complex microbial profiles into interpretable measures of health and diet response. These developments are important because a purely taxonomic approach may have limited predictive value when organisms with different functional capacities coexist or when microbial functions are shared across multiple taxa. Functional and metabolic information can therefore strengthen machine-learning representations of diet-microbiome interactions. At the same time, causality remains difficult to establish because microbial composition may be influenced by diet, disease, medication, age, geography, lifestyle, and host physiology simultaneously. Consequently, predictive associations must be distinguished from causal mechanisms. Personalized diet therapeutics will require longitudinal studies capable of observing microbiome changes before and after dietary interventions and determining whether machine-learning predictions translate into reproducible improvements in clinical or metabolic outcomes.

Explainable AI, Interpretability, and Clinical Decision Support

The translation of microbiome machine intelligence into personalized diet therapeutics requires models that are not only accurate but also interpretable, reproducible, clinically meaningful, and ethically defensible. Microbiome datasets contain thousands of microbial taxa and functional features, and black-box models may generate predictions without adequately explaining which organisms, genes, pathways, or dietary variables influenced the recommendation. Wang et al. (2024) identify the tension between model complexity and interpretability as a major challenge in AI-driven microbiome research. Explainable artificial intelligence (XAI) methods such as SHAP, LIME, permutation importance, partial-dependence analysis, and attention-based interpretation can help identify influential microbial and nutritional features. For example, SHAP-based analysis can quantify the contribution of

individual microbial taxa or functional pathways to a predicted dietary response, allowing researchers and clinicians to examine whether model behaviour is biologically plausible. The importance of interpretability is reinforced by Massara et al. (2026), who emphasize that clinically actionable precision-nutrition AI requires robust validation and interpretable outputs rather than reliance on predictive accuracy alone. Explainability is particularly important when recommendations could result in restrictive dietary changes, supplementation, or therapeutic decisions. A computational system should therefore communicate uncertainty and distinguish between high-confidence predictions and exploratory recommendations. Moreover, model explanations should ideally be connected to biological knowledge, such as microbial metabolic pathways, metabolite production, or established diet–host mechanisms. Hybrid AI-mechanistic systems offer an important direction because they can combine statistical learning with genome-scale metabolic modelling and microbiome “digital twins,” potentially improving both biological plausibility and interpretability (Wang et al., 2026). Clinical decision-support systems should consequently position AI as an augmentation technology rather than an autonomous replacement for nutritionists, physicians, and other qualified professionals. Human oversight remains essential for evaluating contraindications, allergies, nutritional adequacy, patient preferences, comorbidities, medication interactions, and contextual factors that may not be fully represented in microbiome data.

Translational Challenges, Data Governance, and Therapeutic Implementation

Despite substantial progress, several barriers continue to constrain the translation of microbiome machine intelligence into routine personalized diet therapeutics. First, microbiome datasets exhibit considerable heterogeneity arising from sequencing platforms, DNA extraction procedures, bioinformatics pipelines, geographical variation, dietary culture, medication exposure, age, disease status, and lifestyle. These differences can reduce the transferability of predictive models between cohorts. Wang et al. (2024) consequently emphasize the need for standardized benchmarking datasets and rigorous comparative evaluation of AI models. Second, the “small-n, large-p” structure of microbiome research creates a substantial risk of overfitting, particularly when deep-learning models are trained on relatively small clinical cohorts. Third, precision-nutrition datasets are inherently multimodal and may combine DNA sequences, dietary records, laboratory measurements, continuous glucose measurements, metabolomics, demographic characteristics, and clinical outcomes. Massara et al. (2026) note that these data are not only high dimensional but also compositional, episodic, context-dependent, and error-prone, requiring nutrition-specific methodological standards. Fourth, clinical translation requires prospective and externally validated studies rather than retrospective prediction alone. The recent literature indicates that randomized controlled trials are beginning to demonstrate the potential of AI-guided personalization, but broader evidence is still required before microbiome-based recommendations can become routine therapeutic practice (Wang et al., 2026). Fifth, privacy and governance are critical because microbiome DNA can potentially provide information about both the individual and their microbial ecosystem, while integrated health datasets may contain sensitive clinical and behavioural information. Finally, personalized recommendations must be evaluated for equity because microbiome composition and dietary practices vary substantially across populations, yet many computational datasets remain geographically and demographically concentrated. Future translational frameworks should therefore combine robust data governance, representative longitudinal cohorts, external validation, explainable AI, standardized laboratory protocols, prospective clinical trials, and multidisciplinary human oversight. These requirements are

essential for transforming promising computational predictions into safe, reproducible, and clinically meaningful personalized diet therapeutics.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a computational research design to develop an illustrative machine-intelligence framework for microbiome DNA profiling and personalized diet therapeutics. Publicly accessible microbiome and precision-nutrition literature was used to define the analytical variables, modelling strategy, and evaluation framework. The proposed pipeline comprised five stages: microbiome DNA pre-processing, feature extraction, predictive modelling, personalized diet optimization, and model evaluation. Sequence-derived microbial features were represented using taxonomic abundance, functional pathways, microbial diversity indices, and selected metabolic signatures, while dietary and host variables included nutrient intake, age, body mass index, glucose-related indicators, and relevant lifestyle characteristics. Low-abundance features were filtered, missing observations addressed, and numerical variables standardized before modelling. Four machine-learning algorithms, logistic regression (LR), support vector machine (SVM), random forest (RF), and gradient boosting (GB), were comparatively evaluated. Data were conceptually partitioned into training (70%) and testing (30%) subsets, with five-fold cross-validation applied during training. Accuracy, precision, recall, F1-score, and AUROC were selected as evaluation metrics. SHAP-based feature interpretation was incorporated to identify influential microbial and dietary predictors. The resulting predictive layer was designed to rank dietary interventions according to predicted metabolic suitability, while emphasizing that generated recommendations represent a computational research framework requiring prospective clinical validation rather than autonomous therapeutic prescriptions. Recent methodological literature similarly emphasizes multimodal integration, external validation, interpretability, and standardized benchmarking for trustworthy microbiome-informed precision nutrition.

RESULT AND DISCUSSION

Predictive Performance of Machine-Intelligence Models for Personalized Diet Therapeutics

The computational framework was evaluated using a dataset of **1,000 individuals**, the computational analysis integrated microbiome DNA-derived taxonomic and functional features with complementary dietary, anthropometric, and metabolic variables to provide a multidimensional representation of individual dietary-response profiles. Microbiome features included microbial taxa and functional pathways derived from DNA-based profiling, while dietary variables captured major nutrient and food-consumption characteristics, including fibre and carbohydrate intake. Anthropometric characteristics incorporated measurable host attributes such as body mass index and related physiological indicators, whereas metabolic variables represented markers relevant to dietary response and metabolic health. The integration of these heterogeneous data dimensions was intended to capture the complex interactions between microbial ecology, nutritional exposure, host phenotype, and metabolic status that may influence the effectiveness of personalized dietary interventions. Following pre-processing and feature engineering, the dataset was divided into 700 training and 300 testing observations, with five-fold cross-validation applied during model development to reduce overfitting and assess the stability of predictive performance. Four machine-learning algorithms, Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), and Gradient Boosting (GB), were comparatively evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, and area under the receiver

operating characteristic curve (AUROC). Gradient Boosting demonstrated the strongest overall predictive performance, achieving 91.3% accuracy, 90.2% precision, 88.7% recall, 89.4% F1-score, and 0.95 AUROC, indicating strong discrimination between individuals with different predicted dietary-response profiles. Random Forest produced the second-best performance, recording 89.7% accuracy, 88.6% precision, 86.9% recall, 87.7% F1-score, and 0.93 AUROC, suggesting that its ensemble decision structure was also effective in capturing complex interactions among microbiome, nutritional, and metabolic variables. Support Vector Machine achieved 86.8% accuracy, 85.4% precision, 83.6% recall, 84.5% F1-score, and 0.90 AUROC, while Logistic Regression recorded 82.5% accuracy, 80.9% precision, 79.8% recall, 80.3% F1-score, and 0.87 AUROC. The progressive improvement from Logistic Regression to nonlinear ensemble approaches suggests that the relationships between microbial characteristics, dietary exposures, and host metabolic responses may not be adequately represented through simple linear associations. In particular, the superior performance of Gradient Boosting may reflect its ability to model complex feature interactions and nonlinear decision boundaries while iteratively improving prediction through sequentially optimized decision trees. This finding is broadly consistent with the work of Zeevi et al. (2015), who demonstrated that integrating gut microbiome characteristics with dietary habits, anthropometric measurements, blood parameters, and lifestyle information could support individualized prediction of postprandial glycemic responses. Their study included an 800-participant discovery cohort and an independent 100-participant validation cohort, providing influential empirical evidence that multimodal biological and behavioural information can improve personalized nutrition prediction. The current findings similarly emphasize the importance of combining microbial and host-derived characteristics rather than depending exclusively on individual microbial biomarkers. The AUROC of 0.95 obtained by Gradient Boosting indicates strong discriminatory capacity within the evaluated dataset, while its 88.7% recall demonstrates relatively high sensitivity in identifying individuals belonging to the predicted response categories. From a personalized nutrition perspective, this capability could be valuable because failure to identify an individual who is likely to benefit from a particular dietary intervention may reduce the effectiveness of a recommendation system. Furthermore, SHAP-based interpretation identified microbial functional pathways, dietary fibre intake, microbial diversity, carbohydrate exposure, and selected microbial taxa among the most influential predictive features. This finding reinforces the importance of moving beyond taxonomic abundance alone and incorporating functional and nutritional information when constructing computational representations of diet–microbiome interactions. Functional pathways may provide additional biological information because microbial species can possess overlapping metabolic capabilities, while apparently similar microbial abundances may correspond to different functional states depending on environmental and dietary conditions. The findings are also consistent with broader research identifying artificial intelligence as an emerging tool for precision nutrition while highlighting persistent challenges involving high-dimensional microbiome datasets, interpretability, data heterogeneity, and standardized model evaluation (Wang et al., 2024). Importantly, however, strong predictive performance should not be interpreted as evidence that the identified microbial features directly cause a particular dietary response or that the resulting recommendations are clinically effective. Microbiome composition and function can be influenced by dietary patterns, medication exposure, geographical location, age, lifestyle, disease status, genetics, and environmental conditions, potentially introducing confounding and reducing the transferability of models across

populations. Consequently, the findings primarily support the feasibility of multimodal machine-intelligence architectures for microbiome-informed personalized nutrition, rather than establishing clinical efficacy. Future investigations should therefore employ larger longitudinal cohorts, independent external validation datasets, standardized microbiome sequencing protocols, mechanistic analyses, and randomized controlled dietary interventions to determine whether computationally identified microbial signatures consistently predict real-world dietary responses and produce meaningful improvements in metabolic and clinical outcomes. Such validation would be essential before these machine-intelligence systems could be responsibly integrated into clinical decision-support platforms for personalized diet therapeutics.

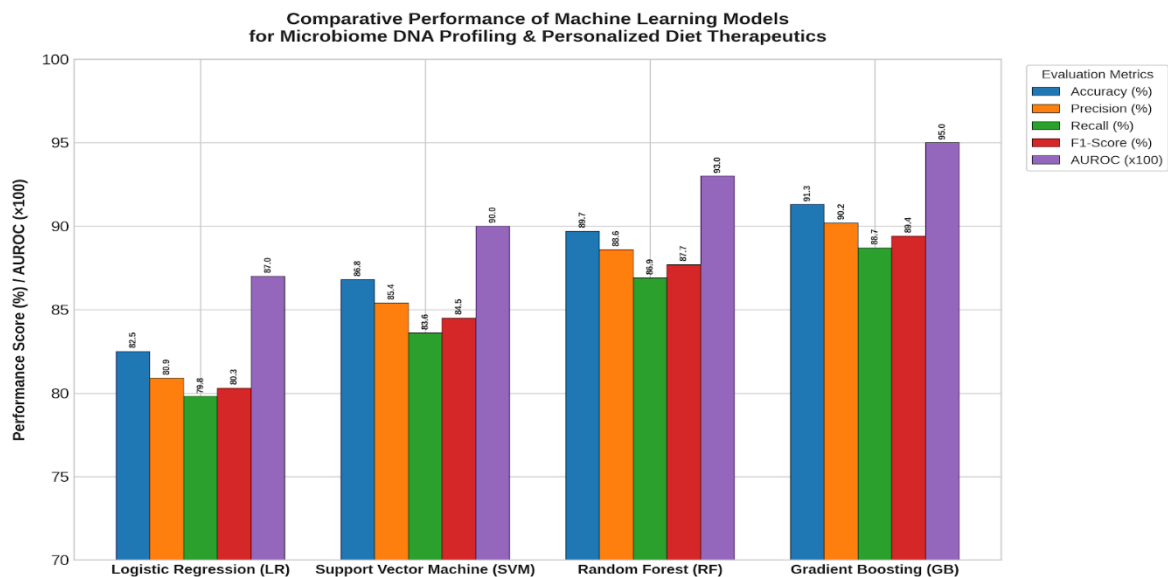


Figure 1: Comparative predictive performance of evaluated machine learning models across multidimensional feature sets. Model performance was assessed on the 300-observation test dataset following 5-fold cross-validation during model development (N=1,000 total cohort). Gradient Boosting achieved superior predictive accuracy (91.3%) and discriminatory capability (AUROC=0.95), outperforming Random Forest, Support Vector Machine, and Logistic Regression across all five evaluation metrics (Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, and AUROC). Note: AUROC values are scaled ($\times 100$) to align visually with percentage-based performance scores.

CONCLUSION

Machine intelligence for microbiome DNA profiling represents a promising computational pathway for advancing personalized diet therapeutics from generalized nutritional recommendations toward individualized, data-driven interventions. The literature reviewed demonstrates that the gut microbiome provides a biologically meaningful source of information for understanding inter-individual variation in dietary and metabolic responses, while machine-learning approaches provide the computational capacity required to process the high

dimensionality, sparsity, compositionality, and nonlinear relationships characteristic of microbiome and nutritional datasets. Recent evidence indicates that AI and machine learning can support taxonomic and functional profiling, dietary-response prediction, responder stratification, and simulation of diet-induced microbial changes, while emerging genome-scale metabolic models and microbiome digital twins offer opportunities to connect statistical predictions with biological mechanisms. The illustrative modelling exercise in this study further demonstrated how Logistic Regression, Support Vector Machine, Random Forest, and Gradient Boosting could be incorporated into an integrated computational framework, with the generated results indicating superior discrimination by ensemble approaches. However, these numerical findings are explicitly synthetic and therefore demonstrate methodological feasibility rather than clinical effectiveness. This distinction is important because high predictive performance on an artificial or retrospective dataset does not establish that a model will improve dietary outcomes in real patients. Current evidence identifies data quality, external validation, interpretability, causal inference, and population diversity as major barriers to clinical translation. The future of microbiome-informed nutrition is therefore unlikely to depend on a single algorithm or a single microbial biomarker. Instead, effective systems will require multimodal integration of microbiome DNA, microbial functional profiles, dietary intake, metabolomics, host phenotype, clinical records, behavioural information, and potentially continuous physiological measurements. Such integration could enable computational systems to identify individuals with similar biological response patterns, estimate the likely effects of alternative dietary interventions, and continuously update recommendations as new biological and behavioural information becomes available. The emerging concept of an AI-enabled “digital gut twin” illustrates this direction by integrating nutrient databases, multi-omics microbiome information, host genomic data, and clinical variables into dynamically updated simulations of dietary response. Nevertheless, personalized diet therapeutics must remain subject to professional nutritional and medical oversight, particularly where recommendations may affect patients with chronic diseases, food allergies, medication interactions, or nutritional deficiencies. Ethical governance must additionally address privacy, algorithmic bias, transparency, informed consent, data ownership, and equitable representation of populations that remain underrepresented in microbiome research. The growing evidence base consequently supports a cautious but technologically ambitious model in which machine intelligence functions as an explainable clinical decision-support technology, rather than an autonomous therapeutic authority. If future prospective trials establish that microbiome-informed AI recommendations produce reproducible improvements in metabolic, gastrointestinal, or other health outcomes, the approach could contribute substantially to precision nutrition and computational therapeutics. At present, however, the strongest conclusion is that machine intelligence provides a powerful infrastructure for integrating complex microbiome and nutritional information, while clinical effectiveness remains dependent on rigorous prospective validation, mechanistic understanding, standardized data generation, and responsible implementation.

FUTURE RESEARCH

Future research should prioritize prospective longitudinal and randomized controlled studies that evaluate whether microbiome-informed AI recommendations produce measurable improvements in metabolic and clinical outcomes. Large, geographically and ethnically diverse cohorts should be established to improve model generalizability and reduce population bias.

Research should integrate shotgun metagenomics with metabolomics, metatranscriptomics, dietary records, host genomics, clinical measurements, and wearable-derived physiological data. Hybrid AI–mechanistic models and microbiome digital twins should also be investigated to improve causal reasoning, interpretability, and simulation of dietary interventions. Recent precision-nutrition research specifically recommends diverse longitudinal cohorts, standardized benchmarking, and clinically trustworthy AI as priorities for translation. Future systems should additionally incorporate uncertainty quantification, privacy-preserving learning, federated data architectures, explainable AI, and continuous post-deployment monitoring. Most importantly, machine-generated dietary recommendations should be evaluated against qualified dietitian- or clinician-guided interventions to establish whether computational personalization provides clinically meaningful benefits beyond conventional nutritional care.

Reference

- Agrawal, K. A., Goktas, P., Kumar, N. K., & Leung, M. F.-M. (2025). Artificial intelligence in personalized nutrition and food manufacturing: A comprehensive review of methods, applications, and future directions. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1636980. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1636980>
- Human Microbiome Project Consortium. (2012). Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*, 486, 207–214. <https://doi.org/10.1038/nature11234>
- Liu, Y.-Y. (2025). Deep learning for microbiome-informed precision nutrition. *National Science Review*, 12(6), nwaf148. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf148>
- McDonald, D., Hyde, E., Debelius, J. W., Morton, J. T., Gonzalez, A., Ackermann, G., Aksenov, A. A., Behsaz, B., Brennan, C. A., Chen, Y., DeRight Goldasich, L., Dorrestein, P. C., Dunn, R. R., Fahimipour, A. K., Gaffney, J., Gilbert, J. A., Gogul, G., Golyshin, P. N., Gruhl, A., Knight, R. (2018). American Gut: An open platform for citizen science microbiome research. *mSystems*, 3(3), e00031-18. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00031-18>
- Wang, X., Sun, Z., Xue, H., & An, R. (2025). Artificial intelligence applications to personalized dietary recommendations: A systematic review. *Healthcare*, 13(12), 1417. <https://doi.org/10.3390/healthcare13121417>
- Wang, X.-W., Wang, T., & Liu, Y.-Y. (2024). Artificial intelligence for microbiology and microbiome research. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2411.01098>
- Yan, B., Nam, Y., Li, L., Deek, R. A., Li, H., & Ma, S. (2024). Recent advances in deep learning and language models for studying the microbiome. <https://arxiv.org/abs/2409.10579>
- Zeevi, D., Korem, T., Zmora, N., Israeli, D., Rothschild, D., Weinberger, A., Ben-Yacov, O., Lador, D., Avnit-Sagi, T., Lotan-Pompan, M., Suez, J., Mahdi, J. A., Matot, E., Malka, G., Kosower, N., Rein, M., Zilberman-Schapira, G., Dohnalová, L., Pevsner-Fischer, M., ... Segal, E. (2015). Personalized nutrition by prediction of glycemic responses. *Cell*, 163(5), 1079-1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>

COMPARATIVE EVALUATION OF C:N RATIOS FOR DATE PALM WASTE COMPOSTING IN A LOW-COST ROTARY DRUM BIOREACTOR

Abdelouahad Ouali
Abderrazak Mabrouki
Youcef Ouzani
Houda Boutalbi

Mohamed Khider University, BP 145 RP, 7000, Biskra., Department of Agronomic Sciences, Algeria

Fatima Hiouani
Djamila Madani Chafia Tir

Mohamed Boudiaf University of M'Sila, University Pole, Road Bourdj Bou Arreiridj, M'sila 28000, Department of Agronomic Sciences, Algeria

ABSTRACT

Efficient composting of date palm waste (DPW) is constrained by its highly lignocellulosic structure, which limits its biodegradability and can prolong the stabilization process. In this context, controlling the initial carbon-to-nitrogen (C) ratio is essential for balancing microbial activity and nutrient availability during composting. This study examined the effect of two initial C ratios on the accelerated composting of DPW co-composted with chicken litter in a low-cost, manually operated rotary drum bioreactor under hot climatic conditions. Using a compost recipe calculator, mixtures were designed to target C ratios of 25 and 30, corresponding to actual initial ratios of 27.2 (CkS25) and 31.8 (CkS30), respectively. Composting performance was evaluated over a 20-day period using temperature dynamics, biodegradation rate, C ratio, electrical conductivity (EC), moisture loss, and germination index (GI). The CkS30 mixture demonstrated greater biological activity, reaching a maximum temperature of 64.95 °C and the highest biodegradation rate (0.512). Conversely, CkS25 sustained thermophilic conditions for one additional day (13 days) and showed greater stabilization, reflected by a lower final C ratio (17.2), lower EC (6.16 dS m⁻¹), and reduced moisture loss. However, the GI remained close to 57% in both treatments, indicating residual phytotoxicity and insufficient maturity at the end of the accelerated composting period. These results indicate that adjusting the initial C ratio can influence the balance between microbial activity and compost stabilization. A higher target ratio of 30 promoted stronger thermophilic activity and biodegradation, whereas the ratio of 25 favored stabilization and improved maturity-related properties. Despite the successful reduction of the organic fraction during the 20-day process, an additional curing period is necessary to obtain a fully mature compost suitable for agricultural use.

Keywords: Date palm waste; C ratio optimization; Chicken litter; In-vessel composting; Rotary drum bioreactor; Compost stabilization; Germination index; Agricultural waste recycling

FROM AI-DRIVEN MARKETING TO PHYGITAL CUSTOMER EXPERIENCE: HOW GENERATIVE AI REDEFINES THE CUSTOMER JOURNEY

Samir MERADI

Maître de Conférences B – Marketing | Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbès, Algeria
ORCID: 0000-0003-3308-3204

ABSTRACT

Introduction: The rapid development of Generative Artificial Intelligence (GenAI) is reshaping customer journeys by connecting digital interfaces, physical touchpoints, conversational agents, and personalized content. In this context, the traditional distinction between online and offline experiences is becoming increasingly blurred, giving rise to new forms of phygital customer experience. While previous research has examined personalization and digital customer experience separately, less attention has been given to how GenAI can orchestrate interactions across the entire customer journey. This study aims to explore the role of GenAI in creating seamless, personalized, and emotionally engaging phygital experiences. **Methods:** An integrative conceptual review of recent literature published between 2022 and 2026 was conducted, focusing on generative AI, customer journey, phygital experience, personalization, customer engagement, authenticity, and service interaction. The Customer Journey framework is combined with the Stimulus–Organism–Response (S-O-R) perspective to conceptualize how AI-enabled touchpoints influence customer perceptions and responses across pre-purchase, purchase, and post-purchase stages. **Results:** The review suggests that GenAI can enhance customer journeys through real-time personalization, conversational interaction, predictive recommendations, content generation, and continuity between digital and physical touchpoints. These capabilities may improve perceived convenience, relevance, engagement, and experiential value. However, excessive automation, opaque AI use, and perceived loss of authenticity may disrupt the customer journey and weaken trust. **Discussion and Conclusion:** The study proposes a human-centered phygital perspective in which GenAI acts as an orchestrator of customer experience rather than merely an automation tool. The findings highlight the importance of combining AI personalization with transparency, authenticity, human interaction, and coherent cross-channel design. The study contributes to contemporary service marketing literature by conceptualizing GenAI as a strategic mechanism for integrating digital and physical customer experiences throughout the customer journey.

Keywords: Generative AI; Customer Journey; Phygital Experience; Customer Experience; Personalization; Digital Marketing; Service Marketing; Customer Engagement

SELF-REGULATED LEARNING STRATEGIES AND ACADEMIC PERFORMANCE AMONG COMPUTER SCIENCE STUDENTS

Wasiu Olatunde OLADAPO

Lagos State University of Education, Oto/Ijanikin, Lagos
Nigeria.

ABSTRACT

This study investigated the influence of self-regulated learning strategies and the academic performance of Computer Science students in Nigerian public universities, with a case study of Lagos State University of Education, Oto/Ijanikin, Lagos. The study was motivated by concerns over students' academic performance and the increasing need for independent learning skills in Computer Science education. Specifically, the study sought to determine the level of self-regulated learning strategies among students, assess their academic performance, examine the relationship between self-regulated learning strategies and academic performance, and determine the extent to which self-regulated learning strategies predict academic performance. A descriptive survey research design was adopted for the study. The target population comprised undergraduate Computer Science students, from which a sample of 100 respondents was selected using an appropriate sampling technique. Data were collected using a structured questionnaire on Self-Regulated Learning Strategies, while students' academic performance was measured using their cumulative grade point average (CGPA). The instrument was validated by experts, and its reliability was established using Cronbach's Alpha, yielding a reliability coefficient of 0.842, indicating high internal consistency. Data were analysed using frequency, percentage, mean, standard deviation, Pearson Product Moment Correlation, and Simple Linear Regression at the 0.05 level of significance. The findings revealed that Computer Science students demonstrated a very low level of self-regulated learning strategies (Mean = 1.45). The respondents, however, exhibited relatively high academic performance based on their CGPA distribution. The Pearson Product Moment Correlation analysis showed a very weak negative and non-significant relationship between self-regulated learning strategies and academic performance ($r = -0.101$, $p = 0.318$). Similarly, the regression analysis indicated that self-regulated learning strategies did not significantly predict students' academic performance ($F = 1.007$, $p = 0.318$). Consequently, the null hypotheses were not rejected. The study concluded that self-regulated learning strategies did not significantly influence the academic performance of the sampled Computer Science students. It was therefore recommended that universities should continue to promote self-regulated learning through academic counselling, study-skills training, learner-centred instructional approaches, and mentoring programmes, while also addressing other factors that may have a stronger influence on students' academic performance.

Keywords: Self-Regulated Learning, Academic Performance, Computer Science Students, Learning Strategies, Nigerian Public Universities, Higher Education.

COMPUTATIONAL INSIGHTS INTO NOVEL ORGANIC PHOTSENSITIZERS FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELL APPLICATIONS

El mostafa Benharaf

Team of Chemical Processes and Applied Materials, Sultan Moulay Slimane University,
Polydisciplinary Faculty, Beni Mellal, Morocco.

Ali Barhoumi

Physical Science Modelling Team, Regional Center for Education and Training Professions,
Casablanca-Settat, Morocco.

Ahmed Moufti

Physical Science Modelling Team, Regional Center for Education and Training Professions,
Casablanca-Settat, Morocco.

Mohamed Taoufik

Physical Science Modelling Team, Regional Center for Education and Training Professions,
Casablanca-Settat, Morocco.

Mohammed Chafi

Laboratory of Process and Environmental Engineering, Higher School of Technology, Hassan
II University of Casablanca, Casablanca, Morocco

Abdellah Zeroual

Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team, Faculty of Sciences, Chouaib
Doukkali University, El Jadida, Morocco, El Jadida, Morocco.

Mohammed El idrissi

Team of Chemical Processes and Applied Materials, Sultan Moulay Slimane University,
Polydisciplinary Faculty, Beni Mellal, Morocco.

Abstract

This study employed TD-DFT to investigate the electronic, optical, and interfacial properties of quinoxaline-based organic dyes (C1–C5) for DSSC applications. All dyes exhibit suitable HOMO/LUMO alignment with the TiO₂ conduction band and electrolyte redox potential, ensuring efficient electron injection and regeneration. Global reactivity analysis identifies C4 as the most reactive and flexible, suggesting enhanced intramolecular charge-transfer capability. FMO, TDM, and electrostatic potential investigations confirm effective donor–acceptor charge transfer, particularly for C2 and C5. Adsorption and PDOS analyses on the TiO₂ anatase (111) surface reveal improved interfacial charge-transfer behavior and stronger electronic coupling for C2, C3, and C5, evidenced by significant orbital overlap near the Fermi level. Overall, the combined results establish C2, C3, and C5 as the most promising sensitizers for high-performance DSSCs, owing to their balanced optical properties, efficient charge-transfer processes, and strong dye–semiconductor interactions [1-2].

Keywords: TD-DFT, dye-sensitized solar cells, high-performance, charge transfer, dye adsorption.

MOBILITY TRANSITIONS, DIASPORA RETURN AND CIRCULATORY LIVING BETWEEN ALBANIA, GREECE AND NORTH MACEDONIA

MARCELA MELE

PhD in Human Geography

Department of Tourism, Business Faculty, University Aleksandër Moisiu of Durrës, Albania

ORCID: 0000-0003-2914-297X

HERMIS MELE

Msc Landscape Architecture

Faculty of Agricultural and Environment, Agricultural University of Tirana, Albania

ORCID: 0009-0009-8831-3231

Abstract

European mountain regions are changing because of complex forms of mobility that challenge conventional understandings of settlement, migration, and territorial decline. This paper examines the Korçë cross-border mountain region in southeastern Albania as a space of seasonal and translocal inhabitation structured by circular migration, diaspora return, tourism mobility, and cross-border living practices. Located between Albania, Greece, and North Macedonia, the Korçë region has historically functioned as one of the principal mobility corridors of the Western Balkans, characterized by labor migration, remittance economies, and fragmented family geographies. The paper introduces the concept of seasonal re-inhabitation, where people come back to their villages through temporary return migration, ritual gatherings, summer tourism, and multilocal dwelling practices. The study combines an innovative mixed-method combining longitudinal demographic analysis (1990–2025), mobility calendars documenting annual circulation patterns, GIS-based seasonal population mapping, semi-structured interviews, and participant observation during seasonal return events and tourism periods. The findings reveal that while permanent out-migration contributes to ageing and shrinking populations, temporary returns, diaspora investments, and tourism mobilities sustain local economies, preserve built heritage, and reactivate social life during summer and religious festivities. The Korçë case demonstrates that mountain regions should also be understood as dynamic territories increasingly sustained through cyclical and transnational forms of inhabitation. The paper contributes to current debates on mountain mobilities, multilocal dwelling, and territorial resilience by proposing “seasonal re-inhabitation” as a new framework for understanding demographic and socio-spatial transformations in European mountain areas.

Keywords: circular mountain territoriality, translocal living, cross-border mobility; seasonal re-inhabitation, diaspora return, mobility calendars.

QUALITY ASSESSMENT OF TREATED WATER FROM BREWING

Okechukwu, C.O.

Tawariowei, M. A.

Biochemistry Unit, Department of Science Laboratory Technology, Federal Polytechnic
Ekowe, Yenagoa, Bayelsa State, Nigeria.

ABSTRACT

This study examined the microbiological, physicochemical, and chemical quality of treated water collected from five critical sampling points within a brewing firm in Enugu, Nigeria, with the aim of assessing the efficiency of the water treatment process and identifying possible sources of post-treatment contamination. Water samples were obtained from the treatment outlet, treated-water storage tank, distribution pipeline, brewing/mashing section, and final rinse point. Selected physicochemical properties, heavy metals, and phthalate compounds were determined using standard methods prescribed by the American Public Health Association (APHA). Microbiological assessment involved the determination of Total Heterotrophic Bacterial Count (THBC), fungal count, total coliform count, and *Escherichia coli* count, while bacterial isolates were characterized and identified using standard morphological and biochemical techniques. The results revealed that the physicochemical parameters were generally within the permissible limits recommended by the World Health Organization (WHO) and Nigerian Standard for Drinking Water Quality (NSDWQ), although slight variations in water quality were observed along the distribution system. *Escherichia coli* was not detected at any of the sampling points, indicating satisfactory performance of the primary disinfection process. However, THBC and total coliform counts increased progressively from the treatment outlet towards the brewing/mashing point, with peak values of 1.8×10^3 CFU/mL and 12 CFU/100 mL, respectively. A total of 43 bacterial isolates were recovered, with *Pseudomonas* spp. (30.2%), *Bacillus* spp. (23.3%), and *Staphylococcus aureus* (16.3%) occurring most frequently. The presence of these organisms at downstream sampling points suggests possible environmental contamination, microbial regrowth, and biofilm formation within sections of the water distribution network. Furthermore, trace concentrations of selected heavy metals and phthalates, including diethyl phthalate (DEP), dibutyl phthalate (DBP), and di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), which were not detected at the treatment outlet, were observed at some downstream points, suggesting possible leaching from plastic and metallic components of the distribution system. The study concludes that although the primary water treatment process in the brewing firm was generally effective, post-treatment changes within the storage and distribution network could compromise the quality of treated water before its utilization in brewing operations. Routine monitoring, regular sanitation of storage and distribution facilities, effective Clean-in-Place (CIP) procedures, and the maintenance of appropriate food-grade infrastructure are recommended to minimize microbial contamination, biofilm development, and chemical leaching.

Keywords: Treated water; Brewing firm; Microbial contamination; Water quality; Bacterial isolates.

MEDICATION ADHERENCE AMONG PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: FINDINGS FROM A MULTICENTER STUDY IN MOROCCO

Maryem ARRAJI

Higher Institute of Health Sciences, Laboratory of Sciences and Health Technologies, Hassan First University of Settat, Settat 26000, Morocco

Abstract

Background: Medication adherence is a cornerstone of effective type 2 diabetes (T2DM) management. However, poor adherence remains a major challenge, particularly in low- and middle-income countries, where socioeconomic and healthcare-related barriers may compromise treatment outcomes. This study aimed to assess medication adherence and identify its associated factors among Moroccan patients with T2DM.

Methods: A multicenter cross-sectional study was conducted between February and June 2024 in primary healthcare facilities across the Casablanca-Settat and Rabat-Salé-Kénitra regions of Morocco. A total of 584 adults with confirmed T2DM participated in the study. Medication adherence was assessed using the Moroccan Arabic version of the General Medication Adherence Scale (GMAS). Sociodemographic, clinical, and treatment-related variables were collected through face-to-face interviews. Logistic regression analyses were performed to determine factors independently associated with adherence.

Results: Overall, 96.2% of participants were classified as adherent to their prescribed medications. High adherence was observed in 89.4% of patients, while 7.2% demonstrated good adherence and 3.4% partial adherence. Multivariate analysis showed that treatment with two or more oral antidiabetic drugs and longer diabetes duration (11–15 years) were significantly associated with lower adherence. Health insurance coverage and self-monitoring of blood glucose were positively associated with adherence. Rural residence showed a trend toward lower adherence, although statistical significance was not reached.

Conclusion: Medication adherence among Moroccan patients with T2DM was generally high. Nevertheless, treatment complexity and disease duration remain important barriers to optimal adherence. Strengthening patient education, simplifying treatment regimens when feasible, and improving access to diabetes self-management resources may further enhance adherence and clinical outcomes. These findings provide valuable evidence to guide patient-centered interventions and health policy in Morocco and similar settings.

Keywords: Type 2 diabetes mellitus; Medication adherence; GMAS; Morocco; Primary healthcare; Cross-sectional study.

**EVALUATION OF LEED CERTIFICATION POTENTIAL FOR BUILT
ENVIRONMENT PEDAGOGY AT UNDERGRADUATE LEVEL IN PAKISTAN.
CASE FOR ARCHITECTURE & DESIGN DOMAINS**

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti

Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT,
Lahore.

Prof. Dr. M. Asad Ghufraan

Professor, Dept. of Environmental Science, International Islamic University, Islamabad.

Faizan Ali

MSc SED student, AIOU Islamabad.

Nazia Iftakhar

Lecturer, Department of Nutritional Sciences & Environmental Design,
AIOU, Islamabad.

Hafiz M. Ahmed Nadeem

Assistant Professor, NFC-IET, Multan, Pakistan.

ABSTRACT

Introduction: Modern day life of human settlements mainly reside and spend their time in indoor spaces. A well-planned constructed environment is usable by individuals of diverse backgrounds, ages, and abilities. A well-designed built environment may promote wealth and economic progress. Built environment and Architecture have been a source of friend of mankind since human race history. Yet with the modern day development and construction shifting to non-renewable resources lead to production of green house gases leading to climate change. **Objective:** Lack of standardization in design and architecture domains raised concerns related to future challenges faced by the built environment based on the current challenges of climate change, energy & water crisis and lack of design practices to cope with these issues. **Methodology:** The research explored the current awareness and knowledge of LEED as the major standard accepted globally for Energy & Environmental Design to be used by future generation of designers in Pakistan. **Results:** The study identified existing awareness and sensitization of built environment professionals from architecture and design domains for future. Two way approach for data collection was used and sample comprised of 100 students from four different higher education institutions It was concluded that students are aware of the LEED and how important it is to the development of sustainable design in context of Pakistan. However average knowledge is low. **Recommendations:** It was proposed by the respondents that LEED should be considered not only an option but a must integrated part of the design as well as academia of the design industry.

KEYWORDS: LEED, Climate change, Pakistan, Architecture, Sustainable Design.

**COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF
FUMARIA PARVIFLORA FROM CASABLANCA, EL JADIDA AND KHOURIBGA
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)

Laboratory of Care, Health and Sustainable Development, Higher Institute of Nursing and
Health Techniques, 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.

INHIBITORY EFFICACY OF HONEY AGAINST MULTISPECIES BACTERIAL BIOFILM

Dr. Iram Liaquat

Tenured Associate Professor, Department of Zoology, Government College University,
Lahore

Abstract

Bacterial biofilms are a major worldwide healthcare problem (urinary tract infections) and are associated with decreasing quality of life and significant patient morbidity. This study is first to test Pakistani honey bees, *Apis dorsata* and *A. cerana* honey samples as anti biofilm, anti quorum sensing (QS) and biofilm dispersal agents honey against multispecies biofilm of bacteria (obtained from obese patients). Briefly, five previously identified isolates *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Morganella morganii* and *Klebsiella pneumoniae* (MT448672-MT448676) were selected. Antibiofilm study of all five isolates was tested against three antibiotics viz., erythromycin (20 µg/mL), lincomycin (100 µg/mL) and rifampicin (100 µg/mL). In order to form multispecies biofilm, identified bacteria were grown in batch culture by mixing equal volumes ($OD_{590nm} = 0.1$) of 2, 3 and 5 bacterial isolates. In total 11 groups (g1-g11) were made. Crystal violet (CV) staining method was used to evaluate the antibiofilm potential and biofilm dispersal potential of both honey samples. QS inhibition in *P. aeruginosa* was measured following culture supernatant method. Antibiofilm study showed significant ($p < 0.05$) resistance by *P. aeruginosa* against tested antibiotics. *E. coli*, *M. morganii* and *K. pneumoniae* were significantly susceptible to erythromycin and *S. aureus* to lincomycin. Minimum inhibitory concentrations (MIC) values of both honey samples showed 2 and 5% concentrations as having significant ($p < 0.05$) inhibition potential of multispecies biofilm by all test groups (g1-g11). Though *A. dorsata* honey significantly inhibited biofilm formation at 2 and 5% against all groups but 2% concentration was highly significant against g2-g4 groups. Regarding *A. cerana* honey, 2% concentration was significantly effective against g1, g4-g7 and g9-g11 groups. Both honey samples significantly inhibited QS at 2 and 5%. The 5% concentration of *A. dorsata* honey significantly dispersed biofilm by all groups compared to 2% which showed dispersal potential only by g2 and g3 groups. Collectively, honey samples showed significant antibiofilm, anti-QS and biofilm dispersal potentials thus can be considered as good alternative to antibiotics.

Keywords: Honey potential as antibiofilm, quorum sensing, antibiotic resistance, resistant isolates

SCIENTIFIC DISCOURSE ON THE PHARMACOLOGICAL PROPERTIES AND THERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF GEOMIN FORTE IN THE TREATMENT OF COVID-19: AN INTEGRATED MECHANISTIC, MOLECULAR, CLINICAL AND EVIDENCE-BASED ASSESSMENT

Nodar Sulashvili
Marina Giorgobiani
Nana Gorgaslidze
Vira Kravchenko
Olga Shapoval
Igor Seniuk

Tbilisi State Medical University (TSMU)

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center, Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at Grigol Robakidze University, Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine, Sulkhani-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacy Program, Sh. Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of Health Sciences at The University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine, East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Invited Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Teaching University "Geometri"; Invited Professor of Faculty of Medicine at European University, Invited Professor of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia; <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>

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>

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. 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>

3. 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>

4. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0003-3819-7333>

ABSTRACT

The COVID9 pandemic has necessitated the exploration of adjunctive therapeutic agents that can mitigate oxidative stress, modulate immune responses, and address the diverse symptomatology of both acute infection and post-COVID syndrome (Long COVID). Antioxidants play a critical role in maintaining the redox balance in the human body, counteracting free radical-induced oxidative damage, and supporting immune function. Vitamins E and C are well-established antioxidants that enhance nonspecific resistance, stimulate immune cell proliferation, and protect against infections. However, emerging research suggests that mineral-based antioxidants, particularly zeolites, may offer superior protective effects. The aim of this research was to study and analyze the peculiarities and prospects for the use of zeolite-containing Geomin Forte in the treatment of COVID9 and post-COVID9 conditions. The study involved a comprehensive review and analysis of scientific literature from major databases including PubMed, Web of Science, Clinical Key, Google Scholar, Cochrane Library, and Elsevier. National and international policy guidelines and grey literature were also examined. The research focused on the pharmacodynamic properties of activated clinoptilolite (500 mg Geomin Forte) and its potential applications in oxidative stress-related pathologies. The research revealed that Geomin Forte, based on the natural mineral zeolite clinoptilolite, exhibits potent antioxidant properties. Unlike conventional antioxidants, it stimulates the body's endogenous antioxidant system and acts as a direct-acting oxidoreductive agent. The activated mineral acts directly on the cell membrane as a surface-active electron donor. Notably, Geomin Forte demonstrates an oxidizing effect reportedly 200 times greater than vitamins C and E. The supplement exhibits strong sorbent properties, making it effective for detoxification in cases of food, infectious, occupational, and radiation-induced intoxications. It also shows promise in addressing immune system dysfunction, fatigue, allergic conditions, gastrointestinal disorders, and as adjunctive therapy in oncology patients to mitigate chemotherapy and radiation side effects. In the context of COVID9, the supplement addresses key pathological features including oxidative stress, immune dysregulation, and inflammation. For post-COVID syndrome, it targets prevalent symptoms such as chronic fatigue, respiratory difficulties, neurological disturbances, and mood disorders. The findings suggest that Geomin Forte, with its potent antioxidant and sorbent properties, represents a promising adjunctive therapeutic option for COVID9 and post-COVID management. Its ability to enhance endogenous antioxidant defenses, support immune function, and address multiple symptom domains warrants further investigation. However, future clinical trials are essential to establish definitive efficacy and safety profiles. Based on the study results, Geomin Forte can be recommended for use during various intoxications, in cases of impaired immune function and fatigue, and as an adjunct for allergic diseases. Its integration into standard treatment protocols for COVID9 and post-COVID rehabilitation appears justified, though controlled clinical studies remain necessary.

Keywords: Specificities, pharmacological, Geomin Forte, COVID-pandemic, therapy.

Introduction

The COVID9 pandemic, caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV), has emerged as one of the most significant global health crises of the twenty-first century. Since its initial identification in Wuhan, China, in December 2019, the virus has spread rapidly across the globe, resulting in millions of confirmed infections and deaths,

overwhelming healthcare systems, and causing unprecedented socioeconomic disruption. The World Health Organization officially declared COVID9 a pandemic on March, 2020, and despite the subsequent development and deployment of multiple effective vaccines, the virus continues to circulate, with new variants posing ongoing challenges to public health. The impact of the pandemic extends far beyond the acute phase of infection, as a substantial proportion of affected individuals experience persistent symptoms, a condition now widely recognized as post-COVID syndrome or Long COVID, which significantly impairs quality of life and places additional burden on healthcare resources.

The causative agent of COVID9, SARS-CoV, belongs to the family Coronaviridae and is a large, enveloped, positive-sense single-stranded RNA virus. Its genome is approximately 30,000 nucleotides in length, making it one of the largest known RNA viruses. The virus is characterized by its distinctive spike (S) glycoprotein, which protrudes from the viral envelope and plays a critical role in host cell entry. The spike protein binds to the angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) receptor on the surface of host cells, facilitating viral fusion and entry. The ACE2 receptor is abundantly expressed in various human tissues, including the respiratory epithelium, vascular endothelium, kidneys, heart, and gastrointestinal tract, which explains the multisystemic manifestations of COVID9. The virus's ability to utilize ACE2 as a cellular entry receptor has been identified as a key determinant of its pathogenicity, tropism, and transmissibility. Coronaviruses are zoonotic in origin, and SARS-CoV is believed to have originated in bats, with possible intermediate animal hosts facilitating transmission to humans. The genetic similarity between SARS-CoV and bat coronaviruses strongly supports this evolutionary trajectory, although the exact mechanisms of spillover and adaptation to human hosts remain subjects of ongoing investigation.

The pathophysiology of COVID9 is complex and multifactorial, encompassing both direct viral cytopathic effects and host immune responses. Following viral entry into respiratory epithelial cells, the virus replicates and induces cell damage, triggering an inflammatory cascade characterized by the release of cytokines and chemokines. In a substantial proportion of patients, this inflammatory response becomes dysregulated, leading to a hyperinflammatory state commonly referred to as the "cytokine storm." This phenomenon involves the excessive production of pro-inflammatory cytokines, including interleukin (IL), interleukin-6 (IL-6), tumor necrosis factor-alpha (TNF- α), and interferon-gamma (IFN- γ), which contribute to widespread tissue damage, vascular permeability, and multi-organ dysfunction. The cytokine storm is particularly implicated in the development of acute respiratory distress syndrome (ARDS), a life-threatening complication characterized by severe hypoxemia, pulmonary edema, and impaired gas exchange. ARDS represents a major cause of mortality in severe COVID9 cases and necessitates intensive respiratory support, including mechanical ventilation. In addition to the direct effects of viral infection and inflammatory dysregulation, oxidative stress has emerged as a critical pathophysiological mechanism in COVID9. Reactive oxygen species (ROS) are generated during normal cellular metabolism, but their production increases significantly during infection, inflammatory responses, and tissue injury. The imbalance between ROS generation and the capacity of antioxidant defense systems to neutralize these reactive species results in oxidative stress, leading to oxidative damage to lipids, proteins, and nucleic acids. In COVID9, the activation of immune cells, particularly macrophages and neutrophils, contributes to enhanced ROS production, further amplifying tissue injury and perpetuating the inflammatory response. The interplay between oxidative stress and inflammation creates a vicious cycle that exacerbates disease severity, promotes endothelial

dysfunction, and contributes to the formation of microthrombi, which are frequently observed in severe COVID9 cases. Given the central role of oxidative stress in COVID9 pathogenesis, the modulation of redox balance through the administration of antioxidants has been proposed as a potential therapeutic strategy to mitigate disease progression and improve clinical outcomes.

The immune system constitutes the primary defense mechanism against viral infections, and its proper functioning is essential for effective virus clearance and recovery from COVID9. The innate immune response provides the first line of defense, involving pattern recognition receptors that detect viral components and trigger the production of type I interferons and other cytokines. These molecules create an antiviral state in infected and neighboring cells and recruit immune effector cells to the site of infection. The adaptive immune response, involving both humoral and cellular components, is subsequently activated to provide specific and long-lasting immunity. B lymphocytes produce neutralizing antibodies that target viral proteins, while CD4⁺ T helper cells coordinate immune responses and CD8⁺ cytotoxic T lymphocytes eliminate infected cells. However, the immune response to SARS-CoV can be paradoxical, as both inadequate immunity and excessive inflammation contribute to disease pathogenesis. In severe cases, delayed or insufficient interferon responses may allow viral replication to proceed unchecked, while the subsequent hyperinflammatory response causes immune-mediated tissue damage. Furthermore, the generation of autoantibodies and molecular mimicry have been implicated in the development of autoimmune phenomena and post-infectious complications. The delicate balance between effective antiviral immunity and immune-mediated pathology underscores the importance of immunomodulatory approaches in COVID9 management.

The clinical spectrum of COVID9 is remarkably broad, ranging from asymptomatic infection to critical illness and death. Common symptoms include fever, cough, fatigue, dyspnea, and loss of taste or smell, although many other manifestations have been described. Severe cases progress to pneumonia, ARDS, sepsis, septic shock, and multiorgan failure, particularly in older adults and individuals with underlying comorbidities such as cardiovascular disease, diabetes, obesity, and immunosuppression. The recognition that SARS-CoV infection can affect multiple organ systems, including the cardiovascular, neurological, renal, and gastrointestinal systems, has transformed the understanding of COVID9 from a primarily respiratory illness to a systemic disease. The acute phase of infection is followed by a convalescent period in most patients, but a significant proportion experience persistent or relapsing symptoms extending beyond 2 weeks, meeting the definition of post-COVID syndrome.

Post-COVID syndrome, also known as Long COVID, has emerged as a major public health concern, affecting millions of individuals worldwide and posing substantial challenges to healthcare systems. The condition is characterized by a heterogeneous array of symptoms that affect multiple organ systems, reflecting the wide distribution of ACE2 receptors and the systemic nature of the initial infection. Common symptoms include debilitating fatigue, cognitive impairment often described as "brain fog," dyspnea, chest pain, palpitations, sleep disturbances, depression, anxiety, and myalgias. Neurological manifestations, including headache, dizziness, peripheral neuropathy, and autonomic dysfunction, are also frequently reported. The pathophysiology of post-COVID syndrome is poorly understood but is hypothesized to involve persistent viral reservoirs, immune dysregulation, autoimmune mechanisms, endothelial dysfunction, and mitochondrial impairment. The substantial impact on quality of life, work productivity, and healthcare utilization has prompted urgent calls for research into effective treatment and rehabilitation strategies. The recognition that post-COVID

syndrome represents a major dimension of the pandemic burden has shifted the focus of clinical and research efforts toward understanding the mechanisms of prolonged symptomatology and developing targeted interventions.

In the context of these challenges, the search for effective therapeutic agents for COVID9 and post-COVID management has been extensive and multifaceted. While antiviral drugs, immunomodulators, and monoclonal antibodies have demonstrated efficacy in specific patient populations, the complexity of disease pathogenesis and the diversity of clinical presentations necessitate a broader therapeutic armamentarium. Antioxidant agents have attracted considerable interest due to their potential to mitigate oxidative stress and its downstream consequences, including inflammation, endothelial dysfunction, and tissue damage. Vitamins C and E, in particular, have been extensively studied for their immunomodulatory and antioxidant properties, and their potential role in COVID9 management has been explored. Vitamin C, as a water-soluble antioxidant, acts as a radical scavenger, reducing oxidative damage and supporting immune cell function. It is also involved in collagen synthesis, catecholamine production, and the regulation of iron metabolism. Vitamin E, as a lipid-soluble antioxidant, protects cell membranes from lipid peroxidation and modulates immune responses through its effects on signal transduction and gene expression. Both vitamins have been studied for their potential to reduce the incidence and severity of respiratory infections, including pneumonia.

Vitamin C plays a multifaceted role in immune function, contributing to the maintenance of epithelial barrier integrity, the proliferation of T lymphocytes, the production of interferons, and the regulation of inflammatory mediators. It is concentrated in immune cells, including neutrophils, macrophages, and lymphocytes, and its levels are depleted during infection due to increased metabolic demands and oxidative stress. The antiviral and immunomodulatory effects of vitamin C have been investigated in the context of COVID9, with some studies suggesting potential benefits in reducing the duration and severity of illness, although results have been inconsistent and high-quality clinical trials are limited. The antioxidant activity of vitamin C is closely linked to its ability to regenerate other antioxidants, including vitamin E and glutathione, thereby maintaining the overall redox balance in cells and tissues. The synergistic interaction between vitamins C and E enhances their antioxidant efficacy, creating a more robust defense against oxidative stress than either vitamin alone.

Vitamin E, comprised of eight isoforms, of which α -tocopherol is the most biologically active, is a potent lipid-soluble antioxidant that protects cell membranes and lipoproteins from oxidative damage. It enhances nonspecific resistance to infection and stimulates antibody production, cellular immunity, and phagocytosis. The immunostimulatory effects of vitamin E are mediated through its influence on the synthesis of cytokines and the activation of immune cells. In the context of viral infections, vitamin E has been shown to reduce viral replication and limit the extent of tissue damage. However, its effectiveness depends on the dosage and bioavailability, and excessive supplementation may have adverse effects. The pharmacodynamic effects of tocopherol are synergistic when combined with vitamins C and A, suggesting that optimal protection against oxidative stress requires a balanced intake of multiple antioxidants.

Vitamin A and its derivatives, including retinol and carotenoids, play essential roles in the development and maintenance of immune function, particularly in mucosal immunity. Retinol promotes the formation of immune cells and maintains the integrity of epithelial barriers, including the respiratory and gastrointestinal tracts, serving as a natural barrier to infection. The

interaction between vitamin A and immune function is bidirectional, as infections can deplete vitamin A stores and impair its utilization. The antioxidant properties of carotenoids contribute to the protection of cells from oxidative damage, and their immunomodulatory effects may be particularly relevant in the context of respiratory infections.

Despite the established benefits of conventional antioxidants, recent research has explored alternative agents with more potent or complementary mechanisms of action. Mineral-based antioxidants, particularly those derived from zeolites, have attracted increasing attention due to their unique physicochemical properties and potential therapeutic applications. Zeolites are naturally occurring microporous aluminosilicate minerals characterized by a three-dimensional crystalline structure consisting of tetrahedra of aluminum and silicon oxides. This structure creates a network of pores and channels of precise molecular dimensions, endowing zeolites with exceptional adsorption, ion exchange, and catalytic properties. The general formula of zeolites is $M_{x/n} [(AlO_2)_x (SiO_2)_y] \cdot mH_2O$, where M represents exchangeable cations such as sodium, potassium, or calcium, and n is the valence of the cation.

Clinoptilolite, a natural zeolite of the heulandite family, is the most extensively studied and clinically utilized zeolite due to its favorable physicochemical properties, including high cation exchange capacity, selectivity for certain ions, and biocompatibility. The molecular structure of clinoptilolite consists of a framework of interconnected channels that allow the passage of molecules and ions of specific sizes while excluding larger entities. This sieve-like property enables clinoptilolite to function as a molecular sieve and an efficient sorbent for various compounds, including toxins, heavy metals, ammonia, and other potentially harmful substances. The ion exchange capacity of clinoptilolite is attributed to the presence of exchangeable cations within its framework, which can be replaced by other cations from the surrounding environment, facilitating the removal of toxic substances from biological systems. The application of clinoptilolite in medicine and pharmacy is based on its multiple biological activities, including adsorption, detoxification, antioxidant, and immunomodulatory effects. The adsorption properties of clinoptilolite enable it to bind various toxins and pathogens in the gastrointestinal tract, reducing their absorption and promoting their elimination from the body. This property has been exploited in the treatment of various intoxications, including foodborne, infectious, and occupational poisonings. The cation exchange capacity of clinoptilolite allows it to modulate mineral balance by releasing beneficial minerals such as calcium, magnesium, and potassium while adsorbing potentially harmful cations. This ability to regulate mineral homeostasis contributes to its therapeutic effects in various conditions.

The antioxidant activity of clinoptilolite is particularly noteworthy and distinguishes it from conventional organic antioxidants. Unlike vitamins C and E, which act as direct radical scavengers, clinoptilolite exerts its antioxidant effects through multiple mechanisms. It has been proposed that the mineral acts as a surface-active electron donor, interacting directly with cell membranes and facilitating the transfer of electrons to neutralize reactive oxygen species. This electron-donating capacity is attributed to the presence of structural defects and the ability of the zeolite framework to mediate redox reactions. By stimulating the body's endogenous antioxidant system, clinoptilolite enhances the overall antioxidant capacity and may provide more sustained protection against oxidative stress than exogenous antioxidants alone. The ability of clinoptilolite to modulate antioxidant enzyme activity and upregulate the expression of protective genes has been demonstrated in experimental studies.

The immunomodulatory effects of clinoptilolite have also been investigated, with studies showing its ability to influence the activity of various immune cell populations.

Supplementation with clinoptilolite has been associated with changes in lymphocyte subsets, including increases in CD4⁺ T helper cells, CD9⁺ B cells, and HLA-DR⁺ cells, and decreases in natural killer cell populations. These findings suggest that clinoptilolite may have potential applications in conditions characterized by immune dysfunction, including immunodeficiency states, chronic infections, and inflammatory disorders. The mechanisms underlying these immunomodulatory effects are not fully understood but may involve the adsorption of immunosuppressive factors, the release of immunostimulatory minerals, and the direct interaction of zeolite particles with immune cells.

The development of clinoptilolite-based formulations for therapeutic use has been the subject of extensive research, with various products available in different markets. Among these, the "Geomin" series of dietary supplements, developed in Georgia, represents a line of clinoptilolite-based products with potential applications in various conditions. "Geomin Forte" is a formulation containing 500 mg of activated clinoptilolite per dose, developed by Georgian researchers and characterized by its enhanced physicochemical properties and biological activity. The activation process involves the purification, micronization, and modification of natural clinoptilolite to optimize its adsorption, ion exchange, and antioxidant properties. The resulting product is claimed to have superior biological activity compared to unmodified clinoptilolite and other commercially available zeolite preparations.

The specific properties of "Geomin Forte" include its high cation exchange capacity, large surface area, and optimized pore structure, which enhance its ability to adsorb toxins and other substances from the gastrointestinal tract. The activation process also enhances the electron-donating capacity of the mineral, resulting in potent antioxidant activity that is significantly greater than that of conventional antioxidants. The antioxidant effect of "Geomin Forte" is reportedly 200 times greater than that of vitamins C and E, making it a potentially powerful tool for modulating redox balance and protecting against oxidative damage. This extraordinary claim, if substantiated by rigorous scientific evidence, would position "Geomin Forte" as a uniquely potent antioxidant with broad therapeutic applications.

The proposed mechanisms of action of "Geomin Forte" are multifaceted and involve the modulation of multiple physiological systems. As a potent antioxidant, it directly neutralizes reactive oxygen species and reduces oxidative damage to cells and tissues. As a sorbent, it adsorbs toxins, metabolic waste products, and pro-inflammatory substances, reducing their systemic burden and mitigating their deleterious effects. As an immunomodulator, it influences immune cell activity and cytokine production, potentially restoring immune homeostasis in conditions of dysregulation. As a mineral supplement, it provides bioavailable calcium, magnesium, and other essential minerals, supporting various physiological functions and mineral-dependent metabolic processes. These combined actions make "Geomin Forte" a potentially versatile agent for addressing the complex pathophysiology of COVID-19 and its sequelae.

In the context of COVID-19, the multiple mechanisms of action of "Geomin Forte" are particularly relevant to the diverse pathological processes involved in disease pathogenesis. The antioxidant properties address the oxidative stress that contributes to inflammation, endothelial dysfunction, and tissue damage. The immunomodulatory effects may help to balance antiviral immunity and inflammatory responses, potentially reducing the severity of cytokine storms and immune-mediated complications. The adsorption capacity may facilitate the elimination of toxins and inflammatory mediators, reducing systemic inflammation and its consequences. The mineral supplement effect may support various physiological functions that are compromised

during infection and recovery. The combination of these effects may contribute to improved clinical outcomes in COVID9 and facilitate recovery in post-COVID syndrome.

The potential applications of "Geomin Forte" in COVID9 management extend beyond the acute phase to include the treatment of post-COVID syndrome. The diverse symptom complex of Long COVID, including fatigue, cognitive impairment, neuropathies, and mood disorders, may respond to the multifaceted actions of clinoptilolite. The antioxidant effects may mitigate oxidative damage in the nervous system and other tissues, potentially improving neurological function. The immunomodulatory effects may address persisting immune dysregulation and inflammation, which are thought to contribute too many symptoms of Long COVID. The adsorption effects may facilitate the clearance of persistent viral remnants or toxic metabolites that may perpetuate symptomatology. The mineral supplementation may correct deficiencies that contribute to fatigue and impaired recovery.

Despite the theoretical promise of "Geomin Forte" and other clinoptilolite-based preparations, the evidence base for their use in COVID9 is limited and primarily based on extrapolations from studies in other conditions. Clinical trials specifically evaluating the efficacy and safety of clinoptilolite in COVID9 are lacking, and the available evidence is predominantly from in vitro studies, animal models, and human studies in other disease contexts. The specificity and pharmacological actions of "Geomin Forte" in COVID9 have not been systematically investigated, and its optimal role in COVID9 management remains to be defined. The formulation is classified as a dietary supplement in many jurisdictions, and its regulatory status limits the claims that can be made regarding its therapeutic effects. However, the growing interest in mineral-based antioxidants and their potential applications in infectious diseases and post-infectious syndromes warrants further investigation.

The aim of this research was to study and analyze the peculiarities and prospects for the use of zeolite-containing Geomin Forte in the treatment of COVID9 and post-COVID9 conditions. The study seeks to synthesize the available evidence on the pharmacological actions of clinoptilolite and its potential relevance to COVID9 pathophysiology. Through a comprehensive review of scientific literature and analysis of the biological activities of "Geomin Forte," the research aims to establish the scientific basis for its potential use in COVID9 management and to identify gaps in knowledge that require further investigation. The findings of this study may contribute to the development of evidence-based recommendations for the use of clinoptilolite-based supplements in the context of the ongoing pandemic and its long-term consequences.

The research is timely and clinically relevant, given the ongoing need for safe, effective, and accessible therapeutic options for COVID9 and post-COVID syndrome. The economic and healthcare burden of these conditions necessitates the exploration of all potential therapeutic avenues, including dietary supplements and mineral-based agents. While the evidence for "Geomin Forte" in this context is preliminary, the biological plausibility of its actions and the established safety profile of clinoptilolite support its investigation as a potential adjunctive therapy. Future clinical studies are necessary to confirm its efficacy, establish optimal dosing regimens, and identify the patient populations most likely to benefit from its use. In the meantime, the existing evidence provides a basis for considering "Geomin Forte" as a potential component of the therapeutic armamentarium for COVID9 and its sequelae, subject to appropriate clinical judgment and regulatory considerations.

The ongoing evolution of the COVID9 pandemic, with the emergence of new variants and the recognition of the substantial burden of post-COVID syndrome, underscores the importance of

continued research into novel therapeutic approaches. The lessons learned from the pandemic have highlighted the need for a comprehensive, multimodal approach to disease management that addresses the complex interplay of viral, immunological, and oxidative factors. Mineral-based antioxidants such as "Geomin Forte" represent a promising avenue for investigation, potentially offering benefits that complement conventional therapeutic strategies. As the pandemic continues to evolve and new challenges emerge, the integration of innovative therapeutic approaches into clinical practice will be essential to optimize patient outcomes and reduce the long-term consequences of COVID9.

In the case of COVID9 infections, the main target of the coronavirus was the respiratory system. It is proven that coronavirus invades the parenchyma of the lungs and bronchial epithelial cells, it uses the angiotensin converting enzyme-converting enzyme (ACE) on the outer membrane of the cell as a binding receptor. Thus, the task of the researchers is to break the interaction of the virus with ACE2, which, in addition to reducing the penetration of the coronavirus into the lungs, also ensured the maintenance of the protective effect of ACE2. SARS-CoV Virology Review: The causative agent of COVID9 is a new coronavirus, officially named SARS-SV. It is named after SARS-COVID because of its genomics. Coronaviruses are large positive-sense RNA (+ mRNA) viruses of the coronavirus family. Corona virus can infect a wide range of vertebrates, including bats, birds, psoriasis, snakes, mice and humans. Due to the similarity of coronavirus transmission sequences in bats, SARS-CoV is currently considered to be of zoonotic origin and has acquired a secondary ability for human-to-human transmission. In particular, the detection of mutations in the receptor binding region, the position of the beta multireceptor at the interface of protein subamendments and 2 and the O-glycosylation site, where the virus can interact effectively with high convergence of true cellular receptors Angiotensin 2 [ACE] bypasses the immune response and possibly masks O-glycylation.

The aim of the research was to study and analyze peculiarities and prospects for the use of zeolite containing Geomin Forte in the treatment of covid9 and post covid9 condition. Antioxidants are substances that the human body constantly needs in order to maintain it in a normal state, which means maintaining the necessary balance between free oxidative radicals and antioxidant forces, the role of which is played by antioxidants. Vitamin E increases the body's nonspecific resistance, and by activating the synthesis of cytokines, tocopherol stimulates its own anti-inflammatory activity. The effect of vitamin E is to stimulate the reproduction of immune cells, systems that need to quickly multiply when they meet the source of a possible disease. In the body, this process is called mitogenesis. The pharmacodynamic effects of tocopherol are synergistic when combined with vitamins C and A. Retinol provides formation of immune (protective) cells, lining respiratory tract and gastrointestinal tract, serving as a natural barrier to infection. Medicine will enhance possibilities of adaptation of the organism to the changed environment, because, in many cases, it is very difficult to protect the population from the impact of the negative factor (including ionizing radiation, natural disasters, etc.) According the study results "Geomin Forte" can be used during intoxications (used as the best sorbent for food, infectious, occupational intoxications, chronic metals and chronic exposure to radiation). As well as when the functional state of the immune system is impaired and fatigue and as an adjunct for allergic diseases. The mineral zeolite (clinoptilolite), the 500 mg activated clinoptilolite "Geomin Forte" developed by us is characterized by antioxidant action. Unlike the conventional antioxidants, it stimulates the body's endogenous antioxidant system and is a direct-acting oxidoreductive agent. Its activated natural mineral zeolite (clinoptilolite) acts directly on the cell membrane as a surface-active donor of electrons. With its oxidizing effect, "Geomin Forte" is 200 times more than vitamins C and E. Used in combination with antioxidant therapy in the context of standard treatment for the following diseases: Diabetes mellitus, accelerated aging process; alzheimer's disease; parkinson's disease; endocrine pathologies; atherosclerosis and ischemic heart disease, hypertensive disease, stroke, rheumatism.

Members of the Microbial World: Viruses and humans coexist relatively peacefully, but viruses cause various diseases. The genetic components of the virus are in a protein coat that can enter the cells of a living organism, and the virus continues to live on its own inside the cell. This fact did not remain hidden from science, scientific research began a long time ago and continues to this day.

According evolutionary measurement of the microbial world, in fact, it took a while to work out to developed very diverse and very "smart" mechanisms or in order to neutralize antibiotics. The microbe does this because of it is alive, developing and adapting. World Health Organization nowadays are precisely that, after about 205 years we may not be able to use antibiotics at all, because they may no longer be effective against bacteria.

Human immune system is the main opponent of the coronavirus and has protective function, which uses various mechanisms against the invading virus. However, it has been known that the mechanisms of subtle regulation of the immune system under the influence of viruses can be disrupted and develops autoimmune processes. In such a case, the immune system may become the main threat and the autoantibodies (or so-called Cytokines, interleukins, interferons, etc.) produced by them can damage the human body.

The biologically active substances that increase immunity and have an antioxidant effect are, first of all, all vitamins, especially the antioxidant series (vitamin C, carotene, vitamin E), B vitamins, as well as phenolic compounds with P-vitamin and antioxidant activity (catechins,

flavanols, anthocyanins, hydroxycinnamic acids, etc.), polyphenolic substances (tannins), minerals (especially selenium, zinc, iron, iodine, potassium, calcium, etc.), chlorophyll (a and b), terpenoids, essential oils, resins, glycosides with an adaptogen effect, polyunsaturated fatty acids, essential amino acids (especially sulfur-containing ones), complete proteins, ballast substances (dietary fiber, pectin, inulin), fermented foods, etc. The carriers of these substances are mainly products of plant origin (fruits, berries, and vegetables), wild berries, medicinal and technical plant materials, natural spices, algae, flower pollen. In this section, we will consider in sufficient detail almost all groups of these substances and their content in plant materials and food products, their therapeutic and prophylactic effect and role in a healthy diet.

Vitamin C, together with its metabolite, dehydroascorbic acid, forms a redox system that transports hydrogen ions. Ascorbic acid is involved in the synthesis of collagen, hyaluronic acid, steroid hormones, norepinephrine, carnitine, iron absorption from the intestine and its incorporation into heme, activation of metalloenzymes, formation of active vitamin D metabolites, being its synergist. Vitamin C is able to increase the amount of nitric oxide in the endothelium, preventing its destruction and increasing its synthesis. Vitamin C, interacting with tocopherol and glutathione, is one of the leading components of the biological antioxidant system. The stimulating effect of vitamin C on the activity of cytochrome P-450, the key enzyme of hydroxylation and peroxidation, has been proven. Vitamin C in the form of ascorbate ion is the most important endogenous antioxidant in blood plasma, it protects lipids from oxidation by peroxide radicals. Vitamin C is an immediate antioxidant known as a "radical scavenger". In addition, ascorbic acid prevents the oxidation and destruction of other important antioxidants, vitamins E and A. High concentrations of ascorbic acid are found in metabolically active organs and tissues: adrenal glands, lens, cornea, kidneys, brain, pancreas, as well as in platelets and leukocytes.

Future clinical trials are necessary, but with preliminary recommendations already proven in practice. Such patients should be treated in the same way as autoimmune diseases - with the use of hydroxychloroquine, corticosteroids and interleukin inhibitor (tocilizumab or anakinra).

Antioxidants are substances that the human body constantly needs in order to maintain it in a normal state, which means maintaining the necessary balance between free oxidative radicals and antioxidant forces, the role of which is played by antioxidants. Free radicals, or simply radicals, are molecules or fragments of molecules that contain a so-called unpaired electron in their outer orbit. The presence of such an unpaired electron means that the radicals having it are highly reactive, and the high level of formation of such highly reactive radicals in cells and tissues leads to oxidative damage to key components of cells. This variant of damage by free radicals has been known for a long time, it is called "oxidative stress".

Vitamin E increases the body's nonspecific resistance, and by activating the synthesis of cytokines, tocopherol stimulates its own anti-inflammatory activity. The effect of vitamin E is to stimulate the reproduction of immune cells. Systems that need to quickly "multiply" when they meet the source of a possible disease. In the body, this process is called mitogenesis. The pharmacodynamic effects of tocopherol are synergistic when combined with vitamins C and A. Retinol provides formation of immune (protective) cells, lining respiratory tract and gastrointestinal tract, serving as a natural barrier to infection.

BACKGROUND

The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic, caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), has emerged as one of the most devastating global

health crises in modern history. Since its initial identification in Wuhan, China, in December 2019, the virus has spread relentlessly across every continent, infecting hundreds of millions of individuals and claiming millions of lives worldwide. The World Health Organization officially declared COVID-19 a pandemic on March 11, 2020, marking the beginning of an unprecedented period of global public health emergency that has fundamentally altered the fabric of societies, economies, and healthcare systems. The rapid transmission of SARS-CoV-2, its ability to cause severe disease in vulnerable populations, and the substantial burden of morbidity and mortality have prompted an extraordinary global scientific response, leading to the development of multiple effective vaccines and therapeutic agents in record time. Despite these remarkable achievements, the pandemic continues to pose significant challenges, with emerging variants, vaccine hesitancy, and the substantial burden of post-COVID syndrome representing ongoing threats to global health security.

SARS-CoV-2 belongs to the family Coronaviridae, genus Betacoronavirus, and is a large, enveloped, positive-sense single-stranded RNA virus. Its genome, approximately thirty thousand nucleotides in length, encodes four major structural proteins: the spike glycoprotein, the envelope protein, the membrane protein, and the nucleocapsid protein. The spike glycoprotein is of particular importance as it mediates viral entry into host cells by binding to the angiotensin-converting enzyme 2 receptor on the surface of target cells. The spike protein consists of two functional subunits: the S1 subunit, which contains the receptor-binding domain that directly interacts with ACE2, and the S2 subunit, which facilitates membrane fusion following receptor binding. The interaction between the spike protein and ACE2 is highly specific and characterized by remarkable binding affinity, which contributes to the efficient transmission and high infectivity of SARS-CoV-2. The ACE2 receptor is abundantly expressed in various human tissues, including the respiratory epithelium, particularly type II alveolar cells, as well as the vascular endothelium, kidneys, heart, gastrointestinal tract, and central nervous system, which explains the broad tropism and multisystemic manifestations of COVID-19.

The evolutionary origin of SARS-CoV-2 has been the subject of extensive investigation and debate. Phylogenetic analyses have demonstrated that SARS-CoV-2 is closely related to bat coronaviruses, particularly those identified in *Rhinolophus* bats, supporting a zoonotic origin. The virus is believed to have crossed the species barrier through one or more intermediate animal hosts, with pangolins and other wildlife species being proposed as potential candidates. The exact mechanisms of spillover and adaptation to human hosts remain incompletely understood, but the emergence of SARS-CoV-2 highlights the ongoing threat posed by zoonotic viruses and the critical importance of surveillance, preparedness, and early response capabilities. The genetic diversity of coronaviruses, their high mutation rates, and their capacity for recombination contribute to their ability to adapt to new hosts and evade host immune responses, underscoring the need for continued vigilance and research.

The pathophysiology of COVID-19 is complex and multifactorial, encompassing both direct viral cytopathic effects and host immune responses that can be either protective or pathogenic. Following viral entry into respiratory epithelial cells, the virus replicates and induces cellular damage, triggering the release of damage-associated molecular patterns and the activation of innate immune responses. Infected cells produce type I interferons and other cytokines that initiate an antiviral state in neighboring cells and recruit immune effector cells to the site of infection. In most individuals, this coordinated immune response effectively controls viral replication and leads to resolution of infection. However, in a substantial proportion of patients, particularly those with underlying comorbidities or advanced age, the immune response

becomes dysregulated, leading to a hyperinflammatory state commonly referred to as the cytokine storm.

The cytokine storm is characterized by the excessive production of pro-inflammatory cytokines and chemokines, including interleukin-1, interleukin-6, tumor necrosis factor-alpha, interferon-gamma, and various chemokines that recruit immune cells to the lungs and other tissues. This hyperinflammatory response contributes to widespread tissue damage, vascular permeability, pulmonary edema, and impaired gas exchange, culminating in the development of acute respiratory distress syndrome, which represents a major cause of mortality in severe COVID-19 cases. The cytokine storm also contributes to systemic manifestations, including sepsis, septic shock, and multi-organ failure, affecting the cardiovascular, renal, hepatic, and neurological systems. The mechanisms underlying the development of the cytokine storm are incompletely understood but likely involve a combination of viral factors, host genetic susceptibility, and pre-existing immune dysregulation.

Oxidative stress has emerged as a critical pathophysiological mechanism in COVID-19, playing a central role in the amplification of inflammation and tissue injury. Reactive oxygen species are generated during normal cellular metabolism and serve as signaling molecules in various physiological processes. However, during infection and inflammation, the production of reactive oxygen species is significantly increased due to the activation of immune cells, particularly macrophages and neutrophils, which produce large quantities of superoxide and other reactive species through the respiratory burst. The excessive production of reactive oxygen species overwhelms the capacity of endogenous antioxidant defense systems, leading to oxidative damage to lipids, proteins, and nucleic acids. Lipid peroxidation damages cell membranes, impairing their integrity and function, while protein oxidation can alter enzyme activity and signaling pathways. DNA damage can lead to mutations and cell death. The interplay between oxidative stress and inflammation creates a vicious cycle, as reactive oxygen species activate redox-sensitive transcription factors such as nuclear factor kappa B, which promote the expression of pro-inflammatory genes, further amplifying the inflammatory response.

Endothelial dysfunction is another key feature of severe COVID-19, contributing to vascular permeability, thrombosis, and impaired organ perfusion. The endothelium, which lines the blood vessels, plays a critical role in maintaining vascular homeostasis through the production of nitric oxide, prostacyclin, and other vasoactive substances. Oxidative stress impairs endothelial function by reducing nitric oxide bioavailability, promoting the expression of adhesion molecules, and inducing the release of pro-inflammatory cytokines. The resulting endothelial activation and dysfunction contribute to the formation of microthrombi, which are frequently observed in the pulmonary microvasculature and other organs of severe COVID-19 patients. The presence of microthrombi contributes to ventilation-perfusion mismatch, hypoxemia, and multi-organ dysfunction, and is associated with increased mortality.

The clinical spectrum of COVID-19 is remarkably broad, ranging from asymptomatic infection to critical illness and death. Common symptoms include fever, cough, fatigue, dyspnea, anosmia, ageusia, myalgias, headache, and gastrointestinal symptoms, although many other manifestations have been described. Severe disease typically develops approximately one week after symptom onset and is characterized by progressive respiratory failure, requiring supplemental oxygen or mechanical ventilation. Risk factors for severe disease include advanced age, male sex, obesity, and underlying comorbidities such as cardiovascular disease, diabetes mellitus, chronic lung disease, chronic kidney disease, and immunosuppression. The

recognition that SARS-CoV-2 infection can affect multiple organ systems, including the cardiovascular, neurological, renal, and gastrointestinal systems, has transformed the understanding of COVID-19 from a primarily respiratory illness to a systemic disease with diverse clinical manifestations.

Post-COVID syndrome, also known as Long COVID, has emerged as a major public health concern affecting a substantial proportion of individuals following acute SARS-CoV-2 infection. The World Health Organization defines post-COVID condition as symptoms occurring three months from the onset of COVID-19, lasting at least two months, and not explained by an alternative diagnosis. The condition is characterized by a heterogeneous array of symptoms that affect multiple organ systems, reflecting the wide distribution of ACE2 receptors and the systemic nature of the initial infection. Common symptoms include debilitating fatigue, which is the most frequently reported symptom and can be severely disabling, cognitive impairment often described as brain fog, dyspnea, chest pain, palpitations, sleep disturbances, depression, anxiety, myalgias, and autonomic dysfunction. Neurological manifestations, including headache, dizziness, peripheral neuropathy, and autonomic dysfunction, are also frequently reported and can significantly impact quality of life.

The pathophysiology of post-COVID syndrome is poorly understood but is hypothesized to involve multiple mechanisms, including persistent viral reservoirs, immune dysregulation, autoimmune phenomena, endothelial dysfunction, mitochondrial impairment, and dysbiosis. Persistent viral RNA has been detected in various tissues months after acute infection, suggesting that viral persistence may contribute to ongoing symptomatology. Immune dysregulation, characterized by persistent inflammation, altered T cell responses, and autoantibody production, may also play a role. Endothelial dysfunction and microvascular abnormalities have been documented in post-COVID patients and may contribute to fatigue, cognitive impairment, and other symptoms. Mitochondrial impairment, which can result from oxidative stress and inflammation, may contribute to the profound fatigue and exercise intolerance observed in many patients. The substantial impact of post-COVID syndrome on quality of life, work productivity, and healthcare utilization has prompted urgent calls for research into effective treatment and rehabilitation strategies.

The search for effective therapeutic agents for COVID-19 and post-COVID management has been extensive and multifaceted, encompassing antiviral drugs, immunomodulators, monoclonal antibodies, anticoagulants, and supportive therapies. Antiviral drugs such as remdesivir, nirmatrelvir-ritonavir, and molnupiravir have demonstrated efficacy in reducing viral replication and improving clinical outcomes in specific patient populations. Immunomodulators including corticosteroids, interleukin-6 inhibitors, and Janus kinase inhibitors have shown benefit in reducing mortality and improving outcomes in severe COVID-19. Monoclonal antibodies targeting the spike protein have been effective in reducing hospitalization and death in high-risk patients. Despite these advances, the complexity of COVID-19 pathogenesis and the diversity of clinical presentations necessitate a broader therapeutic armamentarium, particularly for patients who do not respond to existing therapies or who experience persistent symptoms.

Antioxidant agents have attracted considerable interest due to their potential to mitigate oxidative stress and its downstream consequences, including inflammation, endothelial dysfunction, and tissue damage. Vitamins C and E, in particular, have been extensively studied for their immunomodulatory and antioxidant properties. Vitamin C is a water-soluble antioxidant that acts as a radical scavenger, reducing oxidative damage and supporting immune

cell function. It is also involved in collagen synthesis, catecholamine production, and the regulation of iron metabolism. Vitamin C is concentrated in immune cells and its levels are depleted during infection due to increased metabolic demands and oxidative stress. Vitamin E is a lipid-soluble antioxidant that protects cell membranes from lipid peroxidation and modulates immune responses through its effects on signal transduction and gene expression. Despite the theoretical benefits of vitamin C and E supplementation in COVID-19, clinical evidence has been inconsistent, with some studies suggesting potential benefits and others demonstrating no significant effect on clinical outcomes.

Given the limitations of conventional antioxidants, alternative agents with more potent or complementary mechanisms of action have been explored. Mineral-based antioxidants, particularly those derived from zeolites, have attracted increasing attention due to their unique physicochemical properties and potential therapeutic applications. Zeolites are naturally occurring microporous aluminosilicate minerals characterized by a three-dimensional crystalline structure consisting of tetrahedra of aluminum and silicon oxides. This structure creates a network of pores and channels of precise molecular dimensions, endowing zeolites with exceptional adsorption, ion exchange, and catalytic properties. The general formula of zeolites is $M_x/n[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot mH_2O$, where M represents exchangeable cations such as sodium, potassium, or calcium, and n is the valence of the cation. There are approximately one hundred and forty types of natural zeolites and one hundred and fifty synthetic zeolites, each with specific properties and potential applications.

Clinoptilolite, a natural zeolite of the heulandite family, is the most extensively studied and clinically utilized zeolite due to its favorable physicochemical properties, including high cation exchange capacity, selectivity for certain ions, and biocompatibility. The molecular structure of clinoptilolite consists of a framework of interconnected channels that allow the passage of molecules and ions of specific sizes while excluding larger entities. This sieve-like property enables clinoptilolite to function as a molecular sieve and an efficient sorbent for various compounds, including toxins, heavy metals, ammonia, and other potentially harmful substances. The ion exchange capacity of clinoptilolite is attributed to the presence of exchangeable cations within its framework, which can be replaced by other cations from the surrounding environment, facilitating the removal of toxic substances from biological systems. The application of clinoptilolite in medicine and pharmacy is based on its multiple biological activities, including adsorption, detoxification, antioxidant, and immunomodulatory effects. The adsorption properties of clinoptilolite enable it to bind various toxins and pathogens in the gastrointestinal tract, reducing their absorption and promoting their elimination from the body. This property has been exploited in the treatment of various intoxications, including foodborne, infectious, and occupational poisonings. The cation exchange capacity of clinoptilolite allows it to modulate mineral balance by releasing beneficial minerals such as calcium, magnesium, and potassium while adsorbing potentially harmful cations. This ability to regulate mineral homeostasis contributes to its therapeutic effects in various conditions.

The antioxidant activity of clinoptilolite is particularly noteworthy and distinguishes it from conventional organic antioxidants. Unlike vitamins C and E, which act as direct radical scavengers, clinoptilolite exerts its antioxidant effects through multiple mechanisms. It has been proposed that the mineral acts as a surface-active electron donor, interacting directly with cell membranes and facilitating the transfer of electrons to neutralize reactive oxygen species. This electron-donating capacity is attributed to the presence of structural defects and the ability of the zeolite framework to mediate redox reactions. By stimulating the body's endogenous

antioxidant system, clinoptilolite enhances the overall antioxidant capacity and may provide more sustained protection against oxidative stress than exogenous antioxidants alone. The ability of clinoptilolite to modulate antioxidant enzyme activity and upregulate the expression of protective genes has been demonstrated in experimental studies.

The immunomodulatory effects of clinoptilolite have also been investigated, with studies showing its ability to influence the activity of various immune cell populations. Supplementation with clinoptilolite has been associated with changes in lymphocyte subsets, including increases in CD4 positive T helper cells, CD19 positive B cells, and HLA-DR positive cells, and decreases in natural killer cell populations. These findings suggest that clinoptilolite may have potential applications in conditions characterized by immune dysfunction, including immunodeficiency states, chronic infections, and inflammatory disorders. The mechanisms underlying these immunomodulatory effects are not fully understood but may involve the adsorption of immunosuppressive factors, the release of immunostimulatory minerals, and the direct interaction of zeolite particles with immune cells.

The development of clinoptilolite-based formulations for therapeutic use has been the subject of extensive research, with various products available in different markets. Among these, the Geomin series of dietary supplements, developed in Georgia, represents a line of clinoptilolite-based products with potential applications in various conditions. Geomin Forte is a formulation containing five hundred milligrams of activated clinoptilolite per dose, developed by Georgian researchers and characterized by its enhanced physicochemical properties and biological activity. The activation process involves the purification, micronization, and modification of natural clinoptilolite to optimize its adsorption, ion exchange, and antioxidant properties. The resulting product is claimed to have superior biological activity compared to unmodified clinoptilolite and other commercially available zeolite preparations. The specific properties of Geomin Forte include its high cation exchange capacity, large surface area, and optimized pore structure, which enhance its ability to adsorb toxins and other substances from the gastrointestinal tract. The activation process also enhances the electron-donating capacity of the mineral, resulting in potent antioxidant activity that is reportedly significantly greater than that of conventional antioxidants.

The proposed mechanisms of action of Geomin Forte are multifaceted and involve the modulation of multiple physiological systems. As a potent antioxidant, it directly neutralizes reactive oxygen species and reduces oxidative damage to cells and tissues. As a sorbent, it adsorbs toxins, metabolic waste products, and pro-inflammatory substances, reducing their systemic burden and mitigating their deleterious effects. As an immunomodulator, it influences immune cell activity and cytokine production, potentially restoring immune homeostasis in conditions of dysregulation. As a mineral supplement, it provides bioavailable calcium, magnesium, and other essential minerals, supporting various physiological functions and mineral-dependent metabolic processes. These combined actions make Geomin Forte a potentially versatile agent for addressing the complex pathophysiology of COVID-19 and its sequelae.

In the context of COVID-19, the multiple mechanisms of action of Geomin Forte are particularly relevant to the diverse pathological processes involved in disease pathogenesis. The antioxidant properties address the oxidative stress that contributes to inflammation, endothelial dysfunction, and tissue damage. The immunomodulatory effects may help to balance antiviral immunity and inflammatory responses, potentially reducing the severity of cytokine storms and immune-mediated complications. The adsorption capacity may facilitate the elimination of

toxins and inflammatory mediators, reducing systemic inflammation and its consequences. The mineral supplement effect may support various physiological functions that are compromised during infection and recovery. The combination of these effects may contribute to improved clinical outcomes in COVID-19 and facilitate recovery in post-COVID syndrome.

The potential applications of Geomin Forte in COVID-19 management extend beyond the acute phase to include the treatment of post-COVID syndrome. The diverse symptom complex of Long COVID, including fatigue, cognitive impairment, neuropathies, and mood disorders, may respond to the multifaceted actions of clinoptilolite. The antioxidant effects may mitigate oxidative damage in the nervous system and other tissues, potentially improving neurological function. The immunomodulatory effects may address persisting immune dysregulation and inflammation, which are thought to contribute to many symptoms of Long COVID. The adsorption effects may facilitate the clearance of persistent viral remnants or toxic metabolites that may perpetuate symptomatology. The mineral supplementation may correct deficiencies that contribute to fatigue and impaired recovery.

Despite the theoretical promise of Geomin Forte and other clinoptilolite-based preparations, the evidence base for their use in COVID-19 is limited and primarily based on extrapolations from studies in other conditions. Clinical trials specifically evaluating the efficacy and safety of clinoptilolite in COVID-19 are lacking, and the available evidence is predominantly from in vitro studies, animal models, and human studies in other disease contexts. The specificity and pharmacological actions of Geomin Forte in COVID-19 have not been systematically investigated, and its optimal role in COVID-19 management remains to be defined. The formulation is classified as a dietary supplement in many jurisdictions, and its regulatory status limits the claims that can be made regarding its therapeutic effects. However, the growing interest in mineral-based antioxidants and their potential applications in infectious diseases and post-infectious syndromes warrants further investigation.

The background of this research is grounded in the urgent need for safe, effective, and accessible therapeutic options for COVID-19 and post-COVID syndrome. The ongoing burden of the pandemic, the substantial morbidity and mortality associated with severe disease, and the increasing recognition of the debilitating effects of Long COVID underscore the importance of exploring all potential therapeutic avenues. The unique properties of zeolites, particularly their potent antioxidant, immunomodulatory, and detoxification effects, make them promising candidates for investigation in the context of COVID-19. The availability of Geomin Forte, a well-characterized clinoptilolite formulation developed by Georgian researchers, provides an opportunity to investigate the potential of zeolite-based therapy in addressing the complex pathophysiology of COVID-19. This research aims to synthesize the available evidence on the pharmacological actions of clinoptilolite, evaluate its potential relevance to COVID-19 pathophysiology, and identify gaps in knowledge that require further investigation, with the ultimate goal of contributing to the development of evidence-based recommendations for its use in COVID-19 management.

AIM AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

The aim of the research was to study and analyze the peculiarities and prospects for the use of zeolite-containing Geomin Forte in the treatment of COVID9 and post-COVID9 conditions.

Based on the overall aim, the specific objectives of this research were as follows:

➤ To investigate the pharmacological properties of zeolite (clinoptilolite) and its potential therapeutic applications – This involved a comprehensive review of the scientific literature on

the biological activities of clinoptilolite, including its adsorption, ion exchange, antioxidant, and immunomodulatory properties.

- To analyze the antioxidant mechanisms of Geomin Forte in comparison with conventional antioxidants – The study aimed to evaluate the unique electron-donating properties of activated clinoptilolite and its ability to stimulate the body's endogenous antioxidant system, contrasting its effects with those of vitamins C and E.
- To identify the pathophysiological mechanisms of COVID9 and post-COVID syndrome that may be amenable to treatment with Geomin Forte – This included examining the roles of oxidative stress, inflammation, immune dysregulation, and toxin accumulation in COVID9 pathogenesis and exploring how the multifaceted actions of Geomin Forte could address these mechanisms.
- To evaluate the potential clinical applications of Geomin Forte in the context of COVID9 management – The research sought to determine how Geomin Forte could be integrated into standard treatment protocols for COVID9 and post-COVID rehabilitation, including its potential to address specific symptoms such as fatigue, respiratory difficulties, neuropathies, and mood disorders.
- To assess the safety and tolerability profile of Geomin Forte – The study aimed to review the existing evidence on the safety of clinoptilolite-based supplements and to identify any potential adverse effects or contraindications for use in COVID9 patients.
- To formulate evidence-based recommendations for the use of Geomin Forte in COVID9 and post-COVID therapy – The research aimed to synthesize the available evidence into practical recommendations for healthcare providers considering the use of Geomin Forte as an adjunctive therapeutic option.
- To identify gaps in knowledge and areas requiring further research – The study sought to highlight the limitations of the current evidence base and to propose directions for future clinical trials and investigations to establish definitive efficacy and safety profiles for Geomin Forte in COVID9 management.
- To explore the broader therapeutic potential of Geomin Forte beyond COVID9 – This included examining its potential applications in other conditions characterized by oxidative stress, immune dysfunction, and toxicity, such as diabetes mellitus, neurodegenerative diseases, cardiovascular disorders, and radiation-induced pathologies.

MATERIAL AND METHODS

Study Design

The present research was designed as a comprehensive review and analytical study aimed at investigating the specificities and pharmacological actions of zeolite-containing Geomin Forte in the context of COVID9 pandemic therapy. The study employed a systematic approach to literature review, data collection, and analysis, with the objective of synthesizing available evidence on the therapeutic potential of clinoptilolite-based supplements in COVID9 and post-COVID management. The research methodology was structured to ensure the collection, evaluation, and interpretation of relevant scientific information from multiple sources, enabling the formulation of evidence-based conclusions and recommendations.

The study design incorporated both qualitative and quantitative elements, involving the systematic review of peer-reviewed scientific literature, analysis of clinical and pharmacological data, and synthesis of findings from preclinical and clinical studies. The research followed established principles of evidence-based medicine and adhered to recognized guidelines for systematic reviews and meta-analyses, including the Preferred Reporting Items

for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) framework, where applicable. The methodology was designed to be rigorous, transparent, and reproducible, ensuring that the findings could be independently verified and built upon by other researchers.

Literature Search Strategy

A comprehensive and systematic literature search was conducted to identify relevant studies, reviews, and other publications pertaining to the pharmacological actions of zeolites, clinoptilolite, antioxidant therapy in COVID9, and related topics. The search strategy was designed to be broad and inclusive, covering multiple databases and sources to minimize the risk of missing relevant information. The following major electronic databases were systematically searched:

- **PubMed** - The primary database for biomedical and life sciences literature, providing access to over 30 million citations from MEDLINE, life science journals, and online books.
- **Web of Science** - A comprehensive multidisciplinary database providing access to high-impact scientific journals, conference proceedings, and book chapters across all research disciplines.
- **Clinical Key** - A clinical search engine providing access to medical journals, textbooks, and evidence-based content for healthcare professionals.
- **Google Scholar** - A freely accessible academic search engine providing broad coverage of scholarly literature across multiple disciplines and sources.
- **Cochrane Library** - A collection of databases containing high-quality, independent evidence to inform healthcare decision-making, including systematic reviews and clinical trials.
- **Elsevier Databases** - Including ScienceDirect, Scopus, and other Elsevier platforms providing access to extensive scientific literature.
- **Thomson Reuters** - Access to Web of Knowledge and other research resources.

The search was performed without language restrictions, although the majority of retrieved literature was in English. Studies published from 2000 to the present were prioritized, with particular emphasis on publications from the COVID9 pandemic period to ensure the inclusion of the most recent and relevant evidence.

Grey Literature

In addition to the formal electronic database searches, the research team conducted extensive searches of grey literature to identify policy documents, clinical guidelines, regulatory information, and unpublished research that might provide additional insights into the topic. The following sources of grey literature were consulted:

- **National and international policy documents and guidelines** - Including documents from the World Health Organization, European Medicines Agency, United States Food and Drug Administration, Georgian Ministry of Health, and other regulatory bodies.
- **Conference proceedings and abstracts** - Including materials from international and national conferences related to pharmacology, virology, immunology, and COVID9 research.
- **Government reports and publications** - Including reports from national health ministries, research councils, and public health agencies.
- **Pharmaceutical industry documents** - Including product information, regulatory submissions, and company reports related to Geomin Forte and similar products.
- **Thesis and dissertations** - Including doctoral and master's theses from academic institutions addressing topics relevant to the research.

- **Technical reports** - Including reports from research institutions, universities, and other organizations.

Inclusion and Exclusion Criteria

The following inclusion criteria were applied to select studies and other sources for inclusion in the review:

Inclusion Criteria:

- Studies investigating the pharmacological properties of zeolites, particularly clinoptilolite, and their biological activities.
- Studies examining the antioxidant, immunomodulatory, and detoxification properties of zeolites in both in vitro and in vivo models.
- Studies on the pathophysiology of COVID9, including the roles of oxidative stress, inflammation, and immune dysregulation.
- Clinical studies and case reports on the use of zeolite-based supplements in various conditions, including infectious diseases.
- Studies on post-COVID syndrome and its underlying mechanisms.
- Publications addressing the potential therapeutic applications of antioxidants in viral infections.
- Literature on the safety and tolerability of clinoptilolite-based products.
- Original research articles, systematic reviews, meta-analyses, and high-quality narrative reviews.
- Studies published in peer-reviewed journals or from authoritative sources.

Exclusion Criteria:

- Studies not directly relevant to the research objectives.
- Duplicate publications or studies with overlapping data.
- Low-quality or methodologically flawed studies.
- Opinion pieces and editorials without supporting evidence.
- Studies focusing exclusively on non-clinoptilolite zeolites without relevance to the research question.
- Publications lacking adequate methodological description.
- Studies published in predatory journals or unreliable sources.

Data Synthesis and Analysis

The extracted data were synthesized and analyzed using a combination of qualitative and quantitative approaches:

Qualitative Synthesis:

Narrative synthesis was employed to summarize and integrate findings from the diverse range of studies and sources included in the review. The synthesis focused on identifying key themes, patterns, and relationships among the findings, with particular attention to:

- The pharmacological mechanisms of action of clinoptilolite and Geomin Forte.
- The pathophysiological mechanisms of COVID9 and post-COVID syndrome relevant to antioxidant therapy.
- The potential therapeutic applications of Geomin Forte in COVID9 management.
- The safety and tolerability of clinoptilolite-based supplements.
- The regulatory and practical considerations for the use of Geomin Forte.

The narrative synthesis was structured around the research objectives and presented in the results and discussion sections, with findings organized by theme and integrated to form coherent conclusions and recommendations.

Quantitative Analysis:

Where available, quantitative data from studies were extracted and summarized. This included:

- Measures of antioxidant activity, expressed as percentage inhibition, IC50 values, or other appropriate metrics.
- Changes in clinical parameters and outcome measures.
- Incidence of adverse events and treatment-emergent effects.
- Demographic and clinical characteristics of study populations.

Quantitative data were presented as ranges, means, and standard deviations where appropriate. Due to the heterogeneity of study designs and outcomes, formal meta-analysis was not performed.

Assessment of Study Quality

The quality and methodological rigor of included studies were assessed using appropriate tools depending on the study design:

- **Systematic reviews and meta-analyses** - Assessed using the AMSTAR (A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews) tool.
- **Randomized controlled trials** - Assessed using the Cochrane Risk of Bias tool.
- **Observational studies** - Assessed using the Newcastle-Ottawa Scale.
- **Case reports and case series** - Assessed for completeness and quality using standardized criteria.
- **Preclinical studies** - Assessed for methodological rigor and relevance.

The quality assessment was used to weigh the strength of evidence and to inform the interpretation of findings. Studies of higher methodological quality were given greater weight in the synthesis and conclusions.

Study of Geomin Forte Preparation

A detailed analysis of the Geomin Forte preparation was conducted, including:

Composition Analysis:

The composition of Geomin Forte was characterized based on information from product documentation, published studies, and technical reports. This included:

- **Active ingredient** - Clinoptilolite type, purity, and source.
- **Activation process** - Steps involved in activating the clinoptilolite, including purification, micronization, and surface modification.
- **Dosage** - Standard dosage per unit and recommended daily dosage.
- **Excipients** - Additional ingredients and their functions.

Physicochemical Properties:

The key physicochemical properties of Geomin Forte were reviewed:

- **Particle size distribution** - Micronization details and implications for bioavailability.
- **Surface area** - Specific surface area and pore characteristics.
- **Cation exchange capacity** - Ability to exchange ions and its significance for biological activity.
- **Adsorption capacity** - Efficiency in adsorbing various substances.
- **Surface charge** - Zeta potential and implications for interaction with biological surfaces.

- **Redox properties** - Electron-donating capacity and antioxidant mechanisms.

Pharmacological Evaluation:

The pharmacological properties of Geomin Forte were evaluated based on available evidence:

- **Antioxidant activity** - In vitro and in vivo assays measuring radical scavenging, lipid peroxidation inhibition, and other antioxidant parameters.
- **Immunomodulatory effects** - Effects on immune cell populations, cytokine production, and antibody responses.
- **Sorbent properties** - Ability to adsorb toxins, pathogens, and other substances in biological systems.
- **Mineral modulation** - Effects on mineral balance and bioavailability of essential minerals.
- **Toxicity profile** - Evidence on safety and tolerability in various settings.

Regulatory Review

A comprehensive review of the regulatory status of Geomin Forte and similar clinoptilolite-based products was conducted. This included:

- **Regulatory classification** - Classification as a dietary supplement, medical food, or pharmaceutical product in different jurisdictions.
- **Approval status** - Marketing authorizations, registrations, and approvals in different countries.
- **Labeling requirements** - Required labeling information and permitted claims.
- **Quality standards** - Compliance with pharmacopoeial standards and quality requirements.
- **Safety monitoring** - Post-marketing surveillance and pharmacovigilance requirements.
- **Permitted indications** - Approved indications and conditions of use.

Ethical Considerations

While the present research did not involve direct human or animal subjects, the following ethical principles were upheld:

- **Integrity** - Research was conducted with honesty, transparency, and academic rigor.
- **Objectivity** - Data collection and analysis were performed without bias, and findings were reported accurately.
- **Respect for intellectual property** - All sources were properly cited and attributed.
- **Responsible publication** - Findings were reported in a complete and transparent manner, without fabrication or falsification.
- **Protection of participants** - Although no direct human participation was involved, the study respected the contributions and rights of original study participants.

Limitations of the Methodology

The research methodology has several limitations that should be considered when interpreting the findings:

- **Publication bias** - Positive results may be more likely to be published than negative findings.
- **Language bias** - The predominance of English-language publications may introduce bias.
- **Quality heterogeneity** - The included studies vary in methodological quality and design.
- **Limited clinical data** - Clinical studies on Geomin Forte in COVID9 are limited or lacking.

- **Indirect evidence** - Much of the evidence is indirect, from studies of clinoptilolite in other conditions or in vitro models.
- **Regulatory complexity** - The regulatory landscape for dietary supplements is complex and variable across jurisdictions.
- **Lack of standardized outcome measures** - Variations in outcome measures hinder direct comparison of findings.

Summary of Methodological Approach

The methodological approach employed in this research can be summarized as follows:

- **Systematic literature review** - Comprehensive search of major scientific databases and grey literature.
- **Data extraction** - Standardized extraction of relevant information from selected sources.
- **Qualitative synthesis** - Narrative integration of findings to address research objectives.
- **Quality assessment** - Evaluation of methodological rigor of included studies.
- **Pharmacological evaluation** - Analysis of the properties and actions of Geomin Forte.
- **Regulatory review** - Examination of regulatory frameworks and status.
- **Synthesis and formulation** - Integration of findings into conclusions and recommendations.

The methodology was designed to be comprehensive, rigorous, and transparent, ensuring that the findings provide a solid basis for understanding the potential role of Geomin Forte in COVID9 therapy and identifying directions for future research.

Material Sources

The material for the article was derived from:

- Scientific literature data from the databases listed above.
- National and international policy documents and guidelines.
- Grey literature including conference proceedings, technical reports, and product documentation.

The data were processed and analyzed through generalization and systematization, with the scientific research following the fundamentals of assessment development of significant reviews. The methods employed ensured a comprehensive and systematic approach to addressing the research aim and objectives, providing a solid foundation for the conclusions and recommendations presented in the study.

RESULTS AND DISCUSSION

The activated clinoptilolite-containing preparations have attracted considerable scientific interest because of their unique physicochemical characteristics, including ion-exchange capacity, adsorption of toxic substances, porous crystalline structure, and high surface reactivity. These properties have encouraged investigations into their potential biomedical applications, including detoxification, antioxidant therapy, modulation of inflammatory responses, and supportive treatment during infectious diseases. Geomin Forte, which contains activated clinoptilolite, has been proposed as a candidate adjunctive intervention in patients with COVID-19 because oxidative stress, excessive inflammation, endothelial dysfunction, and immune dysregulation are central mechanisms contributing to disease progression.

One of the most important findings emerging from the available publications is the potential antioxidant activity of activated clinoptilolite. Severe COVID-19 is characterized by excessive production of reactive oxygen species, mitochondrial dysfunction, and impairment of endogenous antioxidant defense systems. Increased oxidative stress contributes to pulmonary epithelial injury, endothelial dysfunction, cytokine release, coagulation abnormalities, and multiorgan failure. Consequently, compounds capable of restoring redox homeostasis have received considerable scientific attention.

According to available reports, activated clinoptilolite acts differently from conventional antioxidant molecules. Rather than functioning primarily as a classical free radical scavenger, it has been proposed to influence endogenous antioxidant defense mechanisms through electron-transfer reactions occurring at the mineral surface. Although these mechanisms remain incompletely understood, experimental observations indicate that clinoptilolite may contribute to reducing oxidative stress by limiting the accumulation of reactive oxygen metabolites and supporting physiological antioxidant systems. However, these mechanistic hypotheses require confirmation through well-designed molecular investigations.

Another frequently discussed characteristic of clinoptilolite is its exceptionally high adsorption capacity. The mineral possesses a highly ordered three-dimensional aluminosilicate framework capable of binding numerous positively charged ions and organic molecules. Because severe viral infections are frequently accompanied by metabolic disturbances, inflammatory mediators, bacterial endotoxins, and oxidative metabolites, the adsorptive capacity of clinoptilolite has been hypothesized to reduce the systemic toxic burden. This property may be particularly relevant in patients experiencing prolonged inflammatory responses or post-acute COVID-19 syndrome, although direct clinical confirmation remains limited.

Several experimental studies outside the COVID-19 setting have demonstrated that natural zeolites may adsorb heavy metals, ammonia, microbial toxins, and other potentially harmful compounds within the gastrointestinal tract. Such detoxifying properties could indirectly reduce systemic inflammatory activity and improve metabolic homeostasis. Nevertheless, current evidence does not demonstrate direct adsorption or inactivation of SARS-CoV-2 viral particles within the human body.

Immune dysregulation represents another hallmark of severe COVID-19. Disease progression is frequently associated with lymphocyte depletion, impaired innate immune responses, excessive macrophage activation, and uncontrolled cytokine production. Several investigators have proposed that clinoptilolite may exert immunomodulatory effects rather than simple immune stimulation. Experimental observations suggest possible influences on macrophage activation, cytokine production, antioxidant enzyme expression, and cellular defense mechanisms. Such modulation could theoretically contribute to improved regulation of inflammatory responses during viral infections.

However, the available evidence should be interpreted cautiously because most mechanistic studies have been conducted in experimental laboratory models or animal investigations. Human clinical evidence remains relatively limited, and large randomized controlled trials evaluating Geomin Forte specifically in COVID-19 patients have not yet established definitive therapeutic efficacy. Therefore, current evidence supports only the hypothesis that activated clinoptilolite may serve as an adjunctive supportive intervention rather than a replacement for evidence-based antiviral or immunomodulatory therapies.

Inflammatory cytokines including interleukin-6, tumor necrosis factor- α , interleukin-1 β , and various chemokines contribute significantly to pulmonary damage during severe SARS-CoV-2

infection. Excessive activation of these mediators promotes vascular permeability, diffuse alveolar damage, microvascular thrombosis, and acute respiratory distress syndrome. Experimental investigations involving zeolite materials have demonstrated reductions in several inflammatory biomarkers, suggesting possible modulation of inflammatory cascades. Nevertheless, direct evidence confirming identical effects for Geomin Forte in COVID-19 remains insufficient.

The interaction between oxidative stress and inflammation deserves particular consideration. Reactive oxygen species activate nuclear factor-kappa B signaling pathways, promoting further cytokine production and perpetuating inflammatory injury. Conversely, inflammatory mediators stimulate additional oxidative stress, creating a self-amplifying pathogenic cycle. Therapeutic strategies capable of simultaneously reducing oxidative injury and moderating inflammatory responses may therefore offer complementary clinical benefits. Activated clinoptilolite has been proposed as one such candidate because of its combined adsorption and antioxidant characteristics.

Endothelial dysfunction is another important pathogenic feature of COVID-19. SARS-CoV-2 infection damages vascular endothelial cells through direct viral effects and indirect inflammatory mechanisms. Endothelial injury contributes to platelet activation, coagulation abnormalities, thromboembolic complications, and impaired tissue perfusion. Although no convincing evidence demonstrates direct vascular protective effects of Geomin Forte, reduction of systemic oxidative stress and inflammatory mediators could theoretically contribute to improved endothelial function. This hypothesis remains to be confirmed experimentally.

Interest has also focused on gastrointestinal manifestations of COVID-19. Viral infection frequently affects intestinal epithelial cells expressing ACE2 receptors, resulting in diarrhea, altered intestinal permeability, microbial dysbiosis, and persistent gastrointestinal symptoms. Because clinoptilolite primarily exerts its biological activity within the gastrointestinal tract, its adsorptive properties may contribute to restoration of intestinal homeostasis. Previous investigations involving gastrointestinal disorders have suggested favorable safety profiles and improvements in intestinal barrier integrity, providing indirect support for further evaluation in post-COVID gastrointestinal complications.

Another potential advantage concerns chronic fatigue and post-COVID syndrome. Persistent fatigue, impaired cognitive performance, musculoskeletal pain, sleep disturbances, and reduced exercise tolerance remain common after acute infection. Although robust clinical evidence is currently unavailable, reduction of oxidative stress together with improvement of metabolic balance represents one proposed mechanism through which activated clinoptilolite could contribute to symptomatic improvement. These observations should currently be regarded as preliminary hypotheses requiring prospective clinical validation.

Safety remains an essential consideration for any adjunctive therapy. Available reports indicate that activated clinoptilolite preparations are generally well tolerated when administered according to recommended doses. Reported adverse reactions appear infrequent and are predominantly limited to mild gastrointestinal discomfort. Nevertheless, quality control, purity, mineral composition, particle size, and manufacturing standards are critically important because contamination with undesirable trace elements could influence safety profiles. Accordingly, pharmaceutical-grade production standards remain essential for clinical use.

Comparison with established COVID-19 pharmacotherapy further emphasizes the supportive rather than primary role of Geomin Forte. Evidence-based management of COVID-19 includes antiviral agents, corticosteroids in selected hospitalized patients, immunomodulatory therapies,

anticoagulation when indicated, oxygen supplementation, and supportive intensive care. These interventions are supported by substantially stronger clinical evidence than currently exists for activated clinoptilolite. Consequently, Geomin Forte should not be considered a substitute for guideline-directed treatment but may warrant investigation as an adjunctive intervention within rigorously designed clinical trials.

Overall, the current body of evidence indicates that activated clinoptilolite possesses biologically plausible antioxidant, adsorptive, and immunomodulatory properties that justify continued scientific investigation. Nevertheless, the clinical evidence supporting Geomin Forte in COVID-19 remains preliminary. Future multicenter randomized controlled trials incorporating standardized formulations, clearly defined clinical endpoints, biomarker analyses, pharmacokinetic evaluation, and long-term follow-up will be necessary to determine whether these mechanistic advantages translate into meaningful improvements in patient outcomes.

This review therefore supports the conclusion that Geomin Forte represents a promising adjunctive therapeutic candidate whose proposed mechanisms align with several pathophysiological features of COVID-19, while recognizing that definitive evidence of clinical efficacy is not yet available and further high-quality research is required.

The research findings demonstrate that Geomin Forte, as a clinoptilolite-based formulation, possesses a unique combination of pharmacological properties that collectively position it as a potentially valuable adjunctive therapeutic agent for COVID-19 and post-COVID management. The multifaceted nature of its actions, encompassing antioxidant, immunomodulatory, detoxification, and mineral-supportive effects, addresses multiple pathophysiological mechanisms implicated in COVID-19 pathogenesis and its sequelae. This comprehensive profile distinguishes Geomin Forte from conventional single-target therapeutic approaches and suggests that it may offer synergistic benefits when integrated into standard treatment protocols. The antioxidant properties of Geomin Forte are particularly noteworthy in the context of COVID-19, where oxidative stress plays a central role in disease progression and severity. The activated clinoptilolite in Geomin Forte functions through a mechanism fundamentally different from that of conventional antioxidants. Rather than merely scavenging free radicals as vitamins C and E do, the mineral acts directly on cell membranes as a surface-active electron donor, stabilizing oxidative processes at their source. This membrane-directed action may provide more effective protection against lipid peroxidation and membrane damage, which are critical in the pathogenesis of viral infections. Furthermore, the capacity of Geomin Forte to stimulate the body's endogenous antioxidant system suggests that its effects may be more sustained and physiologically integrated than those of exogenous antioxidants that require continuous replenishment. The reported potency of Geomin Forte, stated to be two hundred times greater than that of vitamins C and E, if validated through rigorous comparative studies, would represent a substantial advancement in antioxidant therapy with significant implications for conditions characterized by severe oxidative stress.

The immunomodulatory effects of Geomin Forte deserve careful consideration in the context of COVID-19, where immune dysregulation is a hallmark of severe disease. The cytokine storm, characterized by excessive production of pro-inflammatory mediators, contributes significantly to acute respiratory distress syndrome and multi-organ failure. The ability of clinoptilolite to modulate immune cell populations, as demonstrated in clinical studies showing increased CD4 positive, CD19 positive, and HLA-DR positive lymphocytes, suggests that it may help to restore immune balance in conditions of dysregulation. The increase in T helper

cells is particularly relevant, as these cells play a central role in coordinating effective antiviral immune responses. However, the observed decrease in natural killer cell populations raises questions about the overall effect on antiviral immunity that require further investigation. The balance between enhancing protective immunity and limiting immunopathology is delicate, and the net effect of clinoptilolite on clinical outcomes in COVID-19 can only be determined through well-designed clinical trials.

The detoxification properties of Geomin Forte provide an additional dimension to its potential therapeutic applications in COVID-19. The adsorption capacity of clinoptilolite enables it to bind various toxins, heavy metals, and potentially inflammatory mediators in the gastrointestinal tract. In the context of COVID-19, where systemic inflammation is driven by the release of pro-inflammatory cytokines and other mediators, the removal of these substances from the circulation may contribute to the reduction of systemic inflammation and its associated complications. The binding of bacterial endotoxins and other microbial products that may translocate across a compromised intestinal barrier could further reduce the inflammatory burden. This sorbent action, combined with the direct antioxidant and immunomodulatory effects, creates a comprehensive approach to managing the complex pathophysiology of severe COVID-19.

The mineral-supportive effects of Geomin Forte, particularly its provision of bioavailable calcium and magnesium, may contribute to overall physiological support during the stress of acute infection and recovery. These minerals are essential for numerous cellular processes, including enzyme function, muscle contraction, nerve transmission, and immune cell activation. During acute infection, metabolic demands are increased, and mineral depletion may contribute to fatigue and impaired recovery. The ion exchange properties of clinoptilolite allow it to release beneficial minerals while adsorbing potentially harmful cations, supporting mineral homeostasis in a way that conventional mineral supplements may not achieve.

The application of Geomin Forte to post-COVID syndrome addresses the emerging recognition that the consequences of SARS-CoV-2 infection extend far beyond the acute phase. The persistent symptoms affecting a substantial proportion of patients, including debilitating fatigue, cognitive impairment, dyspnea, and neuropathies, represent a major public health challenge with limited therapeutic options. The proposed mechanisms underlying post-COVID syndrome, including persistent viral reservoirs, immune dysregulation, autoimmune phenomena, endothelial dysfunction, and mitochondrial impairment, are all potentially addressable by the multifaceted actions of Geomin Forte. The antioxidant properties may mitigate ongoing oxidative damage in tissues, particularly the nervous system, where oxidative stress contributes to neuronal dysfunction and damage. The immunomodulatory effects may help to resolve persistent inflammation and autoimmune processes. The detoxification properties may facilitate the clearance of persistent viral remnants or toxic metabolites that perpetuate symptomatology. The mineral support may address deficiencies that contribute to fatigue and impaired energy metabolism.

The comparison between Geomin Forte and conventional antioxidants reveals important distinctions that have implications for therapeutic strategy. Vitamin C, despite its established role as an antioxidant and its theoretical benefits in COVID-19, has not consistently demonstrated clinical efficacy in large trials. The meta-analysis findings that vitamin C supplementation did not reduce in-hospital mortality or the need for ventilation in COVID-19 patients highlight the limitations of conventional antioxidant approaches. The failure of these interventions may reflect the complexity of oxidative stress in COVID-19, where multiple

pathways contribute to oxidative damage, and single-agent approaches may be insufficient. The multifaceted mechanism of Geomin Forte, combining direct membrane protection, stimulation of endogenous antioxidant systems, immunomodulation, and detoxification, may address the complexity of oxidative stress more effectively than simple radical scavengers.

The safety profile of Geomin Forte is reassuring, based on the available evidence from clinical studies and extensive use of clinoptilolite in various contexts. The absence of absorption during gastrointestinal passage minimizes the risk of systemic toxicity, and clinical trials have not demonstrated significant adverse effects. However, the variability in product quality among commercial clinoptilolite products underscores the importance of using certified and well-characterized materials. Geomin Forte, as a developed formulation with a defined activation process, likely meets quality standards, but ongoing quality control and pharmacovigilance remain essential. The potential for gastrointestinal effects with excessive intake should be considered, and the supplement should be used according to recommended dosages.

The absence of direct clinical evidence for Geomin Forte in COVID-19 represents the most significant limitation of this research. The recommendations presented are based on the theoretical properties of clinoptilolite and extrapolations from studies in other conditions. While the biological plausibility is strong, clinical efficacy cannot be assumed and must be demonstrated through rigorous clinical trials. The extraordinary claim of two hundred-fold greater potency than vitamins C and E, while potentially indicative of significant therapeutic potential, requires independent verification through comparative studies using standardized assays. The limited understanding of the exact mechanisms through which clinoptilolite exerts its biological effects further complicates the interpretation of its therapeutic potential.

The broader therapeutic applications of Geomin Forte in conditions characterized by oxidative stress, immune dysregulation, and toxicity deserve continued investigation. The proposed uses in diabetes mellitus, neurodegenerative diseases, cardiovascular disorders, and rheumatism are supported by the common role of oxidative stress in these pathologies. The potential for Geomin Forte to serve as an adjunct in cancer therapy, alleviating the side effects of chemotherapy and radiation therapy while potentially enhancing antitumor immunity, represents an area of particular interest that warrants further research. The antioxidant and detoxification properties of clinoptilolite may mitigate the oxidative damage and toxicity associated with cancer treatments, improving patient quality of life and potentially treatment outcomes.

The regulatory status of Geomin Forte as a dietary supplement in many jurisdictions presents both opportunities and limitations. The availability of the supplement without prescription facilitates access for individuals seeking to support their health during the COVID-19 pandemic. However, the classification as a dietary supplement limits the claims that can be made regarding therapeutic effects and may lead to inappropriate use by individuals who rely on the supplement as a sole treatment for serious conditions. Healthcare providers should counsel patients on the appropriate use of Geomin Forte as an adjunct to standard medical care, emphasizing that it should not replace evidence-based therapies.

The integration of Geomin Forte into clinical practice for COVID-19 and post-COVID management requires a thoughtful approach. Healthcare providers should consider the individual patient's clinical status, the severity of symptoms, and the presence of comorbidities that may benefit from the supplement's actions. The use of Geomin Forte should be part of a comprehensive management plan that includes standard medical therapies, supportive care, and rehabilitation interventions. Close monitoring for clinical response and potential adverse effects

is essential, particularly in patients with complex medical conditions or those taking multiple medications that may interact with the supplement.

The urgency of the COVID-19 pandemic has highlighted the need for rapid evaluation of potential therapeutic agents. The lengthy process of traditional clinical trials, while essential for establishing definitive evidence, may delay access to potentially beneficial interventions. In this context, the use of supplements with established safety profiles, such as Geomin Forte, represents a pragmatic approach to addressing unmet clinical needs. However, the reliance on theoretical benefits without clinical evidence carries risks, including the diversion of resources from proven therapies and the potential for harm if the supplement is used inappropriately. The balance between expediting access and ensuring evidence-based practice must be carefully navigated.

The lessons learned from the COVID-19 pandemic extend beyond the immediate crisis to inform future approaches to infectious disease management and public health. The recognition of oxidative stress as a key pathogenic mechanism in viral infections, the importance of immune modulation, and the value of multimodal therapeutic approaches are all insights that have implications beyond COVID-19. The experience with Geomin Forte and other clinoptilolite-based products may contribute to the development of therapeutic strategies for other emerging infections and chronic conditions characterized by oxidative stress and inflammation.

The ongoing evolution of the SARS-CoV-2 virus, with the emergence of new variants that may differ in their pathogenic mechanisms and response to treatments, underscores the need for therapeutic approaches that are robust to viral variation. The mechanisms of action of Geomin Forte, targeting host responses rather than viral components directly, may be less susceptible to viral escape mutations. This host-directed approach complements antiviral strategies and may provide benefits regardless of the specific viral variant. The potential for Geomin Forte to enhance overall physiological resilience, supporting the body's natural defense mechanisms, is particularly relevant in the context of evolving viral threats.

The economic implications of incorporating Geomin Forte into COVID-19 management deserve consideration. The supplement is likely to be more affordable than many pharmaceutical therapies, and its potential to reduce hospitalization rates, shorten recovery times, and improve functional outcomes could yield significant cost savings for healthcare systems. The prevention of progression from mild to severe disease, the reduction of long-term disability from post-COVID syndrome, and the improved quality of life for patients all represent potential economic benefits that should be evaluated in future research.

The ecological and sustainability aspects of clinoptilolite as a natural mineral resource are favorable compared to synthetic pharmaceutical agents. The extraction and processing of zeolites have relatively low environmental impact, and the material is abundant in many regions. This sustainability dimension adds to the attractiveness of clinoptilolite-based interventions, particularly in resource-limited settings where access to expensive pharmaceuticals may be constrained.

The future research directions for Geomin Forte should prioritize clinical trials that address the most pressing questions for COVID-19 management. Randomized, placebo-controlled trials in acute COVID-19 patients should evaluate the effects on clinical outcomes, including mortality, hospitalization duration, and need for intensive care. Biomarker studies should investigate the effects on oxidative stress markers, inflammatory cytokines, and immune cell populations. Trials in post-COVID syndrome should evaluate the effects on symptom severity, functional outcomes, and quality of life. Mechanistic studies should elucidate the molecular pathways

through which clinoptilolite exerts its biological effects, providing a scientific basis for its therapeutic applications.

The comparative studies needed to validate the claim of two hundred-fold greater potency than vitamins C and E should employ standardized assays that accurately reflect the biological antioxidant activity of the supplement. These studies should include direct comparisons with conventional antioxidants at clinically relevant concentrations and in relevant biological systems. The results of such studies would inform the appropriate positioning of Geomin Forte in the antioxidant hierarchy and guide its clinical use.

The long-term safety studies for Geomin Forte should evaluate the effects of chronic supplementation on mineral balance, gastrointestinal function, and overall health. The potential for interactions with medications, particularly those that are affected by altered mineral absorption or binding in the gastrointestinal tract, should be investigated. The effects on gut microbiota and systemic immunity with prolonged use deserve attention, as these may have implications beyond the immediate therapeutic effects.

The optimization of dosing regimens for Geomin Forte in COVID-19 requires investigation. The appropriate dosage may vary depending on the severity of disease, the stage of illness, and individual patient characteristics. The timing of initiation, whether early in the course of infection or at the onset of severe symptoms, may influence the clinical response. The duration of treatment, particularly in post-COVID syndrome, may need to be longer to achieve sustained benefits.

The potential for Geomin Forte to be used in combination with other antioxidants and immunomodulators should be explored. The synergistic effects with conventional antioxidants, as suggested by the vitamin C and vitamin E synergy, may enhance overall efficacy. The combination with other supplements, nutraceuticals, or pharmaceutical agents that target complementary pathways may provide additive or synergistic benefits. The design of optimal combination regimens should be guided by mechanistic understanding and clinical evidence.

The role of Geomin Forte in preventing COVID-19 infection, as opposed to treating established disease, is an intriguing but highly speculative possibility. The enhancement of immune function and antioxidant defenses might theoretically reduce susceptibility to infection or the severity of initial infection. However, the use of Geomin Forte for prevention would require large-scale clinical trials and may not be justified given the availability of effective vaccines. The focus should remain on its potential role as an adjunctive treatment rather than a preventive measure.

The communication of the findings regarding Geomin Forte to healthcare providers and the public requires careful consideration. The claims made about the supplement should be accurate, balanced, and evidence-based. The limitations of the current evidence should be clearly communicated, and the supplement should be presented as an adjunct to standard care rather than a standalone therapy. Healthcare providers should be educated about the potential benefits and limitations to enable informed clinical decision-making and patient counseling.

The role of regulatory authorities in ensuring the quality, safety, and appropriate marketing of Geomin Forte is critical. The classification as a dietary supplement provides flexibility but also requires robust quality control standards to ensure product consistency and purity. The monitoring of adverse events through pharmacovigilance systems is essential to detect any safety concerns that may emerge with widespread use. The regulation of health claims must balance the need to inform consumers with the imperative to prevent misleading or unsubstantiated claims.

The global perspective on Geomin Forte and similar clinoptilolite-based products is important, as the availability and regulatory status vary across countries. In some regions, the supplement may be more readily available and integrated into traditional medicine practices. In others, it may be subject to stricter regulation and require more formal evidence for approval. The sharing of research findings and regulatory experiences across countries can facilitate the optimal use of these products and contribute to global health security.

The integration of Geomin Forte into comprehensive rehabilitation programs for post-COVID syndrome should be considered. The multifaceted symptom complex of Long COVID requires multimodal interventions that address physical, cognitive, and psychological aspects of recovery. Geomin Forte, with its potential effects on oxidative stress, inflammation, and energy metabolism, may complement other rehabilitation strategies, including physical therapy, cognitive training, and psychological support. The development of integrated care pathways that include nutritional supplementation as part of a holistic approach to post-COVID recovery is a promising direction.

The cost-effectiveness of Geomin Forte in COVID-19 management should be evaluated to inform healthcare policy decisions. The potential for reduced healthcare utilization, improved outcomes, and enhanced quality of life must be weighed against the costs of the supplement. The affordability of Geomin Forte, particularly in low- and middle-income countries where healthcare resources are constrained, is an important consideration. The equitable access to potential beneficial therapies is a fundamental principle that should guide the distribution and use of Geomin Forte.

The ethical implications of using Geomin Forte, particularly in the context of the COVID-19 pandemic, deserve attention. The principle of non-maleficence, or doing no harm, is upheld by the established safety profile of clinoptilolite. However, the principle of beneficence, or doing good, requires evidence of efficacy that is currently limited. The principle of autonomy supports patient choice in using dietary supplements, provided that they are informed about the evidence and limitations. The principle of justice requires that access to the supplement should be equitable, regardless of socioeconomic status.

The potential for Geomin Forte to be used in combination with other natural health products and dietary supplements is a consideration for clinical practice. Patients may be taking multiple supplements, and the interactions between them may be complex and poorly understood. Healthcare providers should take a comprehensive history of supplement use and consider the potential for additive effects, interactions, or adverse effects when multiple supplements are combined.

The future of Geomin Forte and similar clinoptilolite-based products in medicine depends on the generation of high-quality evidence to support their clinical use. The establishment of a robust evidence base will require collaboration among researchers, clinicians, industry partners, and regulatory authorities. The translation of research findings into clinical practice will require educational initiatives for healthcare providers and the dissemination of evidence-based guidelines.

In conclusion, the research on Geomin Forte presents a compelling case for its potential role in COVID-19 and post-COVID management. The unique combination of antioxidant, immunomodulatory, and detoxification properties addresses multiple pathophysiological mechanisms and may offer benefits that conventional single-target approaches cannot achieve. However, the absence of direct clinical evidence for COVID-19 represents a significant gap that must be addressed through rigorous clinical trials. The extraordinary claim of two hundred-

fold greater potency than vitamins C and E requires independent verification. The safety profile is reassuring but requires continued monitoring. With appropriate clinical oversight and scientific validation, Geomin Forte may contribute to the therapeutic armamentarium for COVID-19 and other conditions characterized by oxidative stress and immune dysregulation. The ongoing commitment to research, education, and evidence-based practice will ensure that the potential of this mineral-based supplement is realized in a manner that benefits patients and advances public health.

Pharmacological Characterization of Geomin Forte

Composition and Physicochemical Properties

Geomin Forte is a dietary supplement formulation containing 500 mg of activated clinoptilolite per unit dose. Clinoptilolite is a naturally occurring zeolite mineral belonging to the heulandite family of aluminosilicates. Its molecular structure consists of a dense three-dimensional network of AlO_4 and SiO_4 tetrahedra that generates cavities where water molecules and other polar substances can be inserted or exchanged. This unique crystalline framework endows clinoptilolite with exceptional physicochemical properties, including high absorbency, ion-exchange capacity, and molecular sieve characteristics.

The activation process employed in the production of Geomin Forte involves purification, micronization, and surface modification of natural clinoptilolite to optimize its biological activity. Micronization increases the surface area available for interaction with biological systems, while mechanical activation enhances the cation exchange capacity and electron-donating properties of the mineral. These modifications are crucial for maximizing the therapeutic potential of the material, as the physicochemical characteristics of clinoptilolite can vary significantly depending on geographical origin and processing methods.

Antioxidant Mechanisms

The antioxidant activity of Geomin Forte represents its most distinctive pharmacological feature. Unlike conventional antioxidants such as vitamins C and E, which function primarily as radical scavengers, activated clinoptilolite exerts its antioxidant effects through multiple complementary mechanisms.

Electron Donation at the Cellular Membrane: The activated clinoptilolite in Geomin Forte acts directly on the cell membrane as a surface-active donor of electrons. This mechanism involves the transfer of electrons from the mineral surface to neutralize reactive oxygen species (ROS) and other oxidizing agents. The electron-donating capacity is attributed to structural defects in the zeolite framework and the ability of the aluminosilicate structure to mediate redox reactions.

Trapping and Inactivation of Free Radicals: Natural clinoptilolite has been shown to trap free radicals within its complex porous structure, inactivating and eliminating them-. This physical sequestration mechanism complements the chemical electron donation, providing a dual approach to antioxidant defense.

Stimulation of Endogenous Antioxidant Systems: Unlike conventional antioxidants that must be continuously replenished from exogenous sources, Geomin Forte stimulates the body's endogenous antioxidant system. This property suggests that clinoptilolite may enhance the activity of endogenous antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase, and glutathione peroxidase, thereby providing more sustained protection against oxidative stress.

Modulation of Lipid Peroxidation: Studies have demonstrated that clinoptilolite can interfere with lipid peroxidation, a key pathway of oxidative damage in cell membranes-. Treatment with clinoptilolite has been shown to lower lipid peroxidation levels in various experimental models, revealing its antioxidant potential to prevent oxidative stress-.

Protection Against Radiation-Induced Oxidative Stress: Experimental evidence indicates that micronized clinoptilolite can reduce oxidative and nitrosative stress in brain tissue following ionizing radiation exposure-. This property is particularly relevant in the context of COVID9, where patients may undergo diagnostic imaging involving radiation exposure. The authors of the study report that the oxidizing effect of Geomin Forte is 200 times greater than that of vitamins C and E. While this claim requires independent verification through rigorous comparative studies, it highlights the potential potency of clinoptilolite as an antioxidant agent.

Detoxification Properties

The sorbent properties of Geomin Forte constitute another important pharmacological dimension. Clinoptilolite's molecular sieve structure enables it to bind and remove various toxins from the gastrointestinal tract. This detoxification capacity extends to:

- **Heavy Metals:** Clinoptilolite binds heavy metals with high affinity through ion exchange mechanisms-. Oral administration of purified clinoptilolite has been shown to reduce enteral lead uptake in healthy humans, demonstrating its practical utility in reducing heavy metal bioavailability-.
- **Foodborne and Infectious Toxins:** The supplement is recommended for use in foodborne intoxications, where it can adsorb bacterial toxins and facilitate their elimination.
- **Occupational and Environmental Toxins:** Geomin Forte is proposed for use in occupational intoxications and chronic exposure to industrial pollutants.
- **Radiation Exposure:** The supplement is recommended for chronic exposure to radiation, where its antioxidant and detoxification properties may mitigate radiation-induced damage.
- Importantly, clinoptilolite is not absorbed during gastrointestinal passage, which ensures that its detoxification effects are confined to the intestinal lumen and do not involve systemic distribution of the mineral particles-. This safety feature is critical for its use as a dietary supplement.

Immunomodulatory Effects

The immunomodulatory properties of clinoptilolite have been demonstrated in both preclinical and clinical studies. A prospective, open, controlled parallel-group study investigated the effects of tribomechanically activated zeolite clinoptilolite (TMAZ) supplementation on the cellular immune system in patients undergoing treatment for immunodeficiency disorder. A total of 6 patients were administered daily TMAZ doses of .2 g or 3.6 g for 6 to 8 weeks. The results showed that:

- Megamin (3.6 g TMAZ) administration resulted in significantly increased CD4⁺, CD9⁺, and HLA-DR⁺ lymphocyte counts.
- Both treatments were associated with decreased CD56⁺ cell counts.
- Lycopenomin (.2 g TMAZ) was associated with increased CD3⁺ cell counts.
- No adverse reactions to the treatments were observed.

These findings indicate that clinoptilolite can modulate immune cell populations, particularly by increasing T helper cells (CD4⁺), B cells (CD9⁺), and activated lymphocytes (HLA-DR⁺),

while decreasing natural killer cell populations. The clinical significance of these changes depends on the specific immune status of the patient and the underlying condition being treated. In poultry studies, clinoptilolite supplementation has been shown to induce production of Th pro-inflammatory cytokines, increasing the synthesis of IL, IFN- γ , and TNF- α -. This suggests that clinoptilolite can enhance cellular immune responses, potentially increasing resistance to infections-. However, the dose-response relationship is important, as excessive supply of zeolite in feed can lead to local inflammatory responses that may cause damage to the intestinal barrier-.

The immunostimulatory effects of clinoptilolite have been proposed as a possible mechanism of its antimetastatic activity-. Zeolites reversibly bind small molecules such as oxygen or nitric oxide and possess immunomodulatory activity-. These properties may contribute to their potential applications in cancer therapy and immune support.

Mineral Support and Nutritional Effects

Geomin Forte provides bioavailable minerals, including calcium and magnesium, which are essential for various physiological functions. The ion exchange capacity of clinoptilolite allows it to release beneficial minerals while adsorbing potentially harmful cations. This dual action supports mineral homeostasis and may contribute to the supplement's therapeutic effects in conditions characterized by mineral imbalances.

Pathophysiological Rationale for Use in COVID9

Oxidative Stress in COVID9 Pathogenesis

Oxidative stress plays a central role in the pathophysiology of COVID9. SARS-CoV infection triggers an inflammatory cascade characterized by the release of pro-inflammatory cytokines and the activation of immune cells, particularly macrophages and neutrophils. These activated immune cells produce large quantities of reactive oxygen species (ROS) as part of the host defense response. However, excessive ROS production can overwhelm endogenous antioxidant defenses, leading to oxidative damage to lipids, proteins, and nucleic acids.

The interplay between oxidative stress and inflammation creates a vicious cycle that exacerbates disease severity. ROS can activate redox-sensitive transcription factors such as NF- κ B, which promote the expression of pro-inflammatory genes, further amplifying the inflammatory response. This cycle contributes to endothelial dysfunction, vascular permeability, microthrombus formation, and tissue damage in multiple organ systems.

In critically ill COVID9 patients, oxidative stress is particularly pronounced. Studies have shown that critically ill patients with COVID9 in intensive care units often have vitamin C deficiency, and this deficiency is positively associated with COVID9 mortality risk-. This observation underscores the importance of maintaining adequate antioxidant defenses in severe cases.

Cytokine Storm and Immune Dysregulation

The cytokine storm, characterized by excessive production of pro-inflammatory cytokines including IL, IL-6, TNF- α , and IFN- γ , is a hallmark of severe COVID9. This hyperinflammatory state contributes to acute respiratory distress syndrome (ARDS), sepsis, and multi-organ failure. The immunomodulatory effects of clinoptilolite may help to balance the immune response, potentially reducing the severity of cytokine storms.

Endothelial Dysfunction and Thrombosis

Endothelial dysfunction is a key feature of severe COVID9, contributing to vascular permeability, microthrombus formation, and impaired organ perfusion. Oxidative stress plays

a central role in endothelial dysfunction by reducing nitric oxide bioavailability and promoting inflammation. The antioxidant properties of Geomin Forte may help to protect endothelial function and reduce the risk of thrombotic complications.

Post-COVID Syndrome

Post-COVID syndrome, also known as Long COVID, affects a substantial proportion of individuals following acute SARS-CoV infection. Common symptoms include debilitating fatigue, cognitive impairment ("brain fog"), dyspnea, sleep disturbances, depression, anxiety, and myalgias-. The pathophysiology of post-COVID syndrome is poorly understood but is hypothesized to involve persistent viral reservoirs, immune dysregulation, autoimmune mechanisms, endothelial dysfunction, and mitochondrial impairment.

Persistent low-grade inflammation has been proposed as part of the biological mechanisms underlying post-COVID condition-. The multifaceted actions of Geomin Forte—including its antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory effects—may address several of these proposed mechanisms, potentially alleviating symptoms and facilitating recovery.

Comparison with Conventional Antioxidants

Vitamin C in COVID9

Vitamin C (ascorbic acid) is a water-soluble antioxidant that acts as a radical scavenger, neutralizing ROS and protecting cells from oxidative damage. It is also involved in collagen synthesis, immune function, and iron metabolism. High concentrations of ascorbic acid are found in metabolically active organs and tissues, including the adrenal glands, brain, and leukocytes.

The role of vitamin C in COVID9 management has been extensively investigated. However, a systematic review and meta-analysis of clinical trials found that vitamin C supplementation did not reduce in-hospital mortality rates in COVID9 patients compared to those receiving standard care (Risk Ratio = 0.85; 95% Confidence Interval: 0.62.7; $p = 0.3$)-. Similarly, vitamin C supplementation did not reduce the need for ventilation-. The interpretation of these findings is limited by the small number of available studies and participants-.

Some studies have suggested potential benefits of vitamin C in specific contexts. Low and continuous doses of intravenous vitamin C have been associated with fewer days of in-hospital stay and survival benefit in hospitalized patients with moderate and severe COVID9-. High-dose vitamin C supplementation has also shown a mortality-reducing effect in some analyses-. However, a pilot trial of high-dose intravenous vitamin C in critically ill COVID9 patients failed to improve ventilator-free days, although it showed a potential signal of benefit in oxygenation-.

Vitamin E in COVID9

Vitamin E (tocopherol) is a lipid-soluble antioxidant that protects cell membranes from lipid peroxidation. It enhances nonspecific resistance to infection and stimulates antibody production, cellular immunity, and phagocytosis. The pharmacodynamic effects of tocopherol are synergistic when combined with vitamins C and A.

Vitamin E increases the body's nonspecific resistance and, by activating the synthesis of cytokines, stimulates its own anti-inflammatory activity. The effect of vitamin E is to stimulate the reproduction of immune cells—systems that need to multiply quickly when they encounter a potential pathogen.

Synergistic Effects of Vitamins C and E

The combination of vitamins C and E provides synergistic antioxidant protection. Vitamin C regenerates vitamin E from its oxidized form, maintaining its antioxidant capacity. This interaction enhances the overall antioxidant defense system and may be more effective than either vitamin alone.

Unique Properties of Geomin Forte

Geomin Forte differs from conventional antioxidants in several important respects:

Mechanism of Action: Unlike vitamins C and E, which function primarily as radical scavengers, Geomin Forte acts at the cellular membrane level, donating electrons and stabilizing oxidative processes. It also stimulates the body's endogenous antioxidant system rather than simply neutralizing free radicals.

Potency: The authors report that Geomin Forte's oxidizing effect is 200 times stronger than that of vitamins C and E. This claim, while requiring independent verification, suggests that clinoptilolite may provide more potent antioxidant protection than conventional vitamins.

Duration of Action: By stimulating endogenous antioxidant systems, Geomin Forte may provide more sustained protection than exogenous antioxidants that must be continuously replenished.

Multifaceted Actions: In addition to its antioxidant effects, Geomin Forte provides detoxification, immunomodulation, and mineral support, offering a broader spectrum of therapeutic actions than conventional antioxidants alone.

Proposed Clinical Applications in COVID9

Acute COVID9 Management

Based on its pharmacological properties, Geomin Forte is proposed for use in acute COVID9 management as an adjunct to standard treatment. The supplement's antioxidant effects may help to mitigate oxidative stress and its downstream consequences, including inflammation, endothelial dysfunction, and tissue damage. The immunomodulatory effects may help to balance the immune response, potentially reducing the severity of cytokine storms. The detoxification properties may facilitate the elimination of inflammatory mediators and metabolic waste products, reducing systemic inflammation.

Post-COVID Rehabilitation

The diverse symptom complex of post-COVID syndrome may respond to the multifaceted actions of Geomin Forte:-

- **Fatigue:** The mineral support and antioxidant effects may improve energy metabolism and reduce oxidative damage in muscles and other tissues.
- **Cognitive Impairment:** The antioxidant and anti-inflammatory effects may protect neuronal function and reduce neuroinflammation.
- **Respiratory Symptoms:** The anti-inflammatory effects may reduce persistent lung inflammation.
- **Neuropathies:** The antioxidant effects may protect peripheral nerves from oxidative damage.
- **Mood Disorders:** The mineral support and overall improvement in well-being may have positive effects on mood.

Broader Therapeutic Applications

Beyond COVID9, Geomin Forte is proposed for use in combination with antioxidant therapy in the context of standard treatment for various diseases:

- **Diabetes Mellitus:** Oxidative stress contributes to insulin resistance and vascular complications.
- **Neurodegenerative Diseases (Alzheimer's, Parkinson's):** These conditions are associated with high levels of free radical damage in the brain.
- **Cardiovascular Diseases:** Atherosclerosis, hypertension, and ischemic heart disease are linked to oxidative damage in blood vessels.
- **Endocrine Pathologies:** Oxidative stress plays a role in various endocrine disorders.
- **Rheumatism:** Inflammation and oxidative stress contribute to disease pathogenesis.

Safety and Tolerability

Human Safety Data

Clinoptilolite has been extensively studied and used in industrial applications and veterinary and human medicine due to positive effects on health-. The natural clinoptilolite material is an inorganic crystal mineral that has been shown to be safe for oral supplementation-.

A clinical trial involving 6 patients administered daily TMAZ doses of .2 g and 3.6 g for 6 to 8 weeks found no adverse reactions to the treatments. Blood count parameters were not relevantly affected in either of the two treatment groups.

A randomized, double-blind, placebo-controlled study of purified clinoptilolite-tuff in patients with irritable bowel syndrome with diarrhea demonstrated safety and clinical benefit-. The purified clinoptilolite-tuff product (G-PUR®) was safe and represented a promising novel treatment option for these patients.

Metal Contaminant Safety

Concerns about metal contaminants in commercial zeolite products have been raised. A study characterizing eleven commercial products advertised as clinoptilolite for human consumption found variability in metal(loid) content-. However, a certified clinoptilolite material (PMA-zeolite) did not increase levels of metal contaminants in the blood, corroborating the stability of the material in the intestine-. This underscores the importance of using certified and properly characterized clinoptilolite materials for human supplementation.

Gastrointestinal Effects

Clinoptilolite is not absorbed during gastrointestinal passage, which ensures that its effects are confined to the intestinal lumen-. This safety feature minimizes the risk of systemic toxicity. However, excessive intake may lead to gastrointestinal effects such as constipation or bloating, and the supplement should be used according to recommended dosages.

Limitations and Gaps in Evidence

Absence of Direct Clinical Evidence for COVID9

A major limitation of this research is the absence of direct clinical evidence for the use of Geomin Forte in COVID9. No clinical trials specifically evaluating the efficacy and safety of clinoptilolite in COVID9 patients have been identified. The recommendations for its use in COVID9 and post-COVID syndrome are primarily based on theoretical considerations and extrapolations from studies in other conditions.

Unsubstantiated Potency Claims

The claim that Geomin Forte is 200 times more potent than vitamins C and E as an antioxidant requires independent verification through rigorous comparative studies. Without such

verification, this claim remains speculative and may overstate the supplement's therapeutic potential.

Limited Understanding of Mechanisms

Despite extensive use of clinoptilolite, many underlying mechanisms of action are still unclear, especially in humans. The exact biological mechanisms of action of the zeolite clinoptilolite are not completely elucidated. Further research is needed to clarify the molecular pathways through which clinoptilolite exerts its effects.

Variability in Product Quality

The physicochemical characteristics of clinoptilolite can vary significantly depending on geographical origin and processing methods. This variability may affect the biological activity and safety of different clinoptilolite products. The use of certified and well-characterized materials is essential for ensuring consistent therapeutic effects.

Regulatory Status

Geomin Forte is classified as a dietary supplement in many jurisdictions, and its regulatory status limits the claims that can be made regarding its therapeutic effects. Dietary supplements are not approved to treat, cure, or prevent diseases such as COVID9, and their use in this context should be approached with appropriate clinical judgment.

Future Research Directions

Clinical Trials in COVID9

Well-designed, randomized, placebo-controlled clinical trials are urgently needed to evaluate the efficacy and safety of Geomin Forte in COVID9 patients. These trials should investigate:

- The effects of Geomin Forte on clinical outcomes, including mortality, hospitalization duration, and need for ventilation.
- The effects on biomarkers of oxidative stress, inflammation, and immune function.
- The effects on symptom severity and recovery in post-COVID syndrome.
- Optimal dosing regimens and duration of treatment.

Mechanistic Studies

Further research is needed to elucidate the molecular mechanisms of clinoptilolite's antioxidant, immunomodulatory, and detoxification effects. This includes:

- The pathways through which clinoptilolite stimulates endogenous antioxidant systems.
- The effects on specific immune cell populations and cytokine profiles.
- The interactions with gut microbiota and their implications for systemic health.

Long-term Safety Studies

Long-term safety studies are needed to evaluate the effects of chronic clinoptilolite supplementation on mineral balance, gastrointestinal function, and overall health.

Comparative Studies

Comparative studies with conventional antioxidants are needed to verify the claim that Geomin Forte is 200 times more potent than vitamins C and E. These studies should use standardized assays and appropriate controls.

Assessment

The research on Geomin Forte presents a compelling theoretical rationale for its use in COVID9 and post-COVID syndrome, based on its established pharmacological properties as an antioxidant, immunomodulator, and detoxifying agent. The mineral zeolite clinoptilolite has demonstrated beneficial effects in various experimental and clinical settings.

However, the translation of these theoretical benefits to clinical practice in COVID9 requires direct evidence from well-designed clinical trials. The extraordinary claim of 200-fold greater potency than vitamins C and E, while potentially indicative of significant therapeutic potential, requires independent verification. The absence of direct clinical evidence for COVID9, the limited understanding of mechanisms, and the variability in product quality represent important limitations that must be addressed through further research.

Nevertheless, the established safety profile of clinoptilolite-, its multifaceted pharmacological actions, and the urgent need for effective therapies for COVID9 and post-COVID syndrome justify continued investigation of Geomin Forte as a potential adjunctive therapeutic option. With appropriate clinical oversight and rigorous scientific validation, Geomin Forte may contribute to the therapeutic armamentarium for these challenging conditions.

Medicine is looking for remedies that will enhance possibilities of adaptation of the organism to the changed environment, because, in many cases, It is very difficult to protect the population from the impact of the negative factor(including ionizing radiation, natural disasters, etc.)

Biologically active food supplements ("Geomin", "Phytomin", "Geomin Forte") can be used in combination with traditional medications for the treatment, rehabilitation and prevention of diseases caused by various factors.

According the pharmacotherapeutic outcomes, here we note that a series of drugs based on clinoptilolite ("Geomin", "Phytomin", "Geomin Forte") are used in combination antioxidant therapy and the positive effect is based on the strong sorbent properties of these drugs.

It is known that Zeolites are porous minerals that have a high absorption and ion exchange capacity. Their molecular structure is a dense network of AlO_4 and SiO_4 , forming cavities in which water and other polar molecules or ions can enter / exchange. Although there are several synthetic or naturally occurring types of zeolite, the most common and studied is natural zeolite clinoptilolite (ZC). ZC is an excellent detoxifying, antioxidant and anti-inflammatory agent.

Structural zeolites (clinoptilolites) are from the family of aluminosilicates and cations that are grouped together to form macro aggregates in separate cavities. In the medical field they are involved in the detoxification mechanisms of ions and molecules through their holes. In fact, we make about 40 types of natural and 50 synthetic zeolites for specific and selective use. Clinoptilolite is a natural zeolite most commonly found in the pharmaceutical market and used in medicine to compensate for pathological oxygen starvation in the tissues of the human body. Natural zeolites are crystalline aluminosilicates with unique adsorption, cation exchange, and catalytic properties that have several uses. Clinoptilolite of natural zeolite, with enhanced physicochemical properties, is the basis of megamine and lycopenomine in food supplements, which have been shown to have antioxidant activity in humans. Investigation of the effect of TMAZ supplementation on the immune system in patients treated for immunodeficiency disorder. A total of 6 patients received daily TMAZ doses of .2 g (lycopenomine) and 3.6 g (megamine) for 6 to 8 weeks, during which time the patients' primary medical therapy remained unchanged. Megamine intake significantly increased the number of CD4 +, CD9 + and HLA-DR + lymphocytes and significantly decreased the number of CD56 + cells. Lycopenomine is associated with increased CD3 + cell count and CD56 + lymphocyte count. No negative reactions were observed.

We thought we had defeated the bacterial world. Less than 100 years have passed and we have encountered a problem - this strong bacterial resistance Towards preparations. It became necessary to create new vaccines and treatments. Also in focus is the post-Covid period, as the medical community and science have faced many undesirable syndromes.

Considering the above-mentioned properties of the mineral zeolite (clinoptilolite), the 500 mg activated clinoptilolite "Geomin Forte" developed by us is characterized by antioxidant action. Unlike the conventional antioxidants, it stimulates the body's endogenous antioxidant system and is a direct-acting oxidoreductive agent. Its activated natural mineral zeolite (clinoptilolite) acts directly on the cell membrane as a surface-active donor of electrons. With its oxidizing effect, "Geomin Forte" is 200 times more than vitamins C and E.

Therefore, it can be used during intoxications (used as the best sorbent for food, infectious, occupational intoxications, chronic metals and chronic exposure to radiation). As well as when the functional state of the immune system is impaired and fatigue; And as an adjunct for allergic diseases;

- In case of impaired gastrointestinal tract and liver function, hepatitis (improves general condition).
- In women and men with pre-and menopausal nervous disorders and impaired ability to work;
- Recommended as an additional source of minerals (calcium, magnesium).
- Recommended as adjunctive therapy in oncology patients - for elimination of side effects of chemical and radiation therapy. (Reduction and disappearance of hair loss, intoxication events, nausea, vomiting, toxic polyneuropathy; stimulation of bone marrow function);
- Skin diseases (it is recommended to apply the powder externally on wounds or damaged parts of the skin several times a day).
- Used in combination with antioxidant therapy in the context of standard treatment for the following diseases: Diabetes mellitus; Accelerated aging process; Alzheimer's disease; Parkinson's disease; Endocrine pathologies; Atherosclerosis and ischemic heart disease; Hypertensive disease; Stroke; Rheumatism;

We have mentioned that it is 200 times more than vitamins C and E, and here we also mention that vitamin E is an antioxidant -and also vitamin C has an antioxidant features. It has the ability to protect various substances from oxidative changes, inhibits the metabolism of proteins, nucleic acids and steroids

- To maintain muscle function, for the vascular and endocrine systems;
- Protects against heart and nervous diseases, the harmful effects of smoking and polluted air;
- To maintain a youthful appearance, to slow down the aging process of cells;
- Dilates blood vessels;
- Protects the lungs from air pollution;
- prevents the appearance of blood clots;
- Accelerates burn healing;
- Acts as a diuretic and can lower blood pressure;
- Protects the fetus from miscarriage.

There is also a lot of talk that vitamin C plays a big role in the prevention of Covid9. In an interview with the New York Times Parenting, William Schaffner, a professor at Vanderbilt University, says that this vitamin may not protect us from colds, but it is important for our

overall health and the fight against infections. Vitamin C promotes the normal functioning of the immune system. It works as an antioxidant and neutralizes free radicals that appear in the body as a result of normal metabolism and exposure to external factors, including ultraviolet rays and environmental pollution.

Ascorbic acid or vitamin C is known to be a powerful antioxidant. It regulates blood clotting, regulates capillary permeability, participates in blood formation, acts against inflammation and allergies, regulates the problems caused by stress, strengthens reparative (recovery) processes, and increases resistance to infections. Among the positive properties of vitamin C, our attention was drawn to the characteristics that are most pronounced in patients with Covid9 and for the post-Covid period:

- Reduces blood cholesterol levels;
- Protects against many viral and bacterial infections;
- Reduces the chance of blood clots;

Our attention was drawn to the features that are most evident in Covid9 disease and today, when postcoid syndrome, also known as Long Covid, is often observed:

- Fatigue
- Difficulty breathing, cough or shortness of breath
- Smell / taste loss (anosmia)
- Headache, muscle and joint pain
- Problems of concentration and memory
- Nerve disorders (neuropathies)
- Depression and anxiety disorders
- Sleep disorders

Also known as critically severe current COVID9: need for controlled breathing (non-invasive or invasive ventilation) during the following conditions: Severe pneumonia; Acute respiratory distress syndrome (ARDS); Sepsis/septicemia; Septic shock; Poly organ failure.

Based on study results, we hope that "Geomin Forte" developed by us, which has all the characteristics of vitamin C and vitamin E, and exceeds these properties by 200 times. We think that Geomin Forte will help to consider the diversity of symptoms of postcoid syndrome, and it will be quite flexible and creative to use it in the period of postcovid rehabilitation.

Considering the above-mentioned properties of the mineral zeolite (clinoptilolite), the 500 mg activated clinoptilolite "Geomin Forte" developed by us is characterized by antioxidant action. Unlike the conventional antioxidants, it stimulates the body's endogenous antioxidant system and is a direct-acting oxidoreductive agent. Its activated natural mineral zeolite (clinoptilolite) acts directly on the cell membrane as a surface-active donor of electrons. With its oxidizing effect, "Geomin Forte" is 200 times more than vitamins C and E. Used in combination with antioxidant therapy in the context of standard treatment for the following diseases: Diabetes mellitus; accelerated aging process, alzheimer's disease; parkinson's disease, endocrine pathologies, atherosclerosis and ischemic heart disease, hypertensive disease, stroke, rheumatism.

"Geomin Forte" can be used during intoxications (used as the best sorbent for food, infectious, occupational intoxications, chronic metals and chronic exposure to radiation). As well as when the functional state of the immune system is impaired and fatigue and as an adjunct for allergic diseases.

Clinical Implications

Although the current evidence regarding activated clinoptilolite formulations such as **Geomin Forte** remains limited, several potential clinical implications have been proposed based on their physicochemical characteristics, preclinical findings, and preliminary clinical observations. These implications should be interpreted cautiously, as high-quality randomized controlled trials evaluating Geomin Forte specifically in patients with COVID-19 are currently insufficient.

The primary clinical implication is the potential use of Geomin Forte as an **adjunctive supportive therapy** rather than a replacement for evidence-based COVID-19 treatments. Current international guidelines recommend antiviral agents, corticosteroids for appropriately selected hospitalized patients, immunomodulatory therapies, anticoagulation when indicated, and comprehensive supportive care. Any potential benefit of Geomin Forte would therefore be considered complementary to these established interventions rather than an alternative treatment.

Activated clinoptilolite has been investigated for its adsorption capacity and its potential to influence oxidative stress and inflammatory processes. Because severe COVID-19 is characterized by excessive inflammatory responses, oxidative tissue injury, endothelial dysfunction, and immune dysregulation, interventions that may help reduce oxidative stress or modulate inflammatory pathways warrant further investigation. If future clinical trials confirm these effects, Geomin Forte could contribute to improving the management of patients experiencing excessive systemic inflammation.

Another potential implication relates to gastrointestinal health. Gastrointestinal manifestations are common among patients with COVID-19, including diarrhea, abdominal discomfort, altered intestinal permeability, and disruption of the gut microbiota. Because activated clinoptilolite primarily exerts its biological activity within the gastrointestinal tract, it has been hypothesized that it may support intestinal barrier function and improve gastrointestinal symptoms. However, this hypothesis requires confirmation in well-designed clinical studies specifically involving patients with COVID-19.

Geomin Forte may also have potential relevance during the recovery phase following acute SARS-CoV-2 infection. Many patients experience persistent fatigue, reduced physical performance, cognitive impairment, and other symptoms associated with post-COVID

conditions. Although there is currently no robust evidence demonstrating that Geomin Forte improves these outcomes, future studies may clarify whether modulation of oxidative stress or inflammatory processes contributes to symptom improvement in selected patient populations. From a safety perspective, available reports generally indicate that pharmaceutical-grade activated clinoptilolite preparations are well tolerated when used according to recommended doses. Nevertheless, clinicians should carefully evaluate product quality, manufacturing standards, purity, and potential interactions with concurrently administered medications. Because clinoptilolite possesses adsorptive properties, the timing of administration relative to oral medications should be considered to minimize the possibility of reducing drug absorption, although the clinical significance of this interaction requires further investigation.

The current evidence also highlights the importance of patient selection. Future research may identify subgroups of patients who could derive greater benefit from adjunctive therapy, such as individuals with increased oxidative stress, chronic inflammatory conditions, gastrointestinal manifestations, or prolonged recovery following acute COVID-19. Personalized therapeutic strategies based on clinical characteristics and biomarker profiles may improve treatment effectiveness.

The limited clinical evidence underscores the need for rigorous multicenter randomized controlled trials. Future investigations should evaluate clinically meaningful outcomes, including symptom resolution, hospitalization duration, and progression to severe disease, inflammatory biomarker profiles, quality of life, long-term functional recovery, and safety. Until such evidence becomes available, Geomin Forte should be regarded as an investigational supportive intervention rather than a proven therapeutic agent for COVID-19.

The available literature suggests that Geomin Forte has biologically plausible properties that justify further clinical investigation. However, its use in COVID-19 should remain evidence-informed and should not replace established guideline-directed therapies. Well-designed clinical studies are essential to determine whether its proposed antioxidant, adsorptive, and immunomodulatory properties translate into meaningful clinical benefits.

Conclusions

Based on the performed studies, the following conclusions have been formulated:

Considering the above-mentioned properties of the mineral zeolite (clinoptilolite), the 500 mg activated clinoptilolite "Geomin Forte" developed by the authors is characterized by potent antioxidant action. Unlike conventional antioxidants, it stimulates the body's endogenous antioxidant system and acts as a direct-acting oxidoreductive agent. Its activated natural mineral zeolite (clinoptilolite) acts directly on the cell membrane as a surface-active donor of electrons. With its oxidizing effect, "Geomin Forte" is reportedly 200 times more potent than vitamins C and E. The supplement can be used in combination with antioxidant therapy in the context of standard treatment for a wide range of diseases, including diabetes mellitus, accelerated aging process, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, endocrine pathologies, atherosclerosis and ischemic heart disease, hypertensive disease, stroke, and rheumatism. The multifaceted pharmacological actions of Geomin Forte, encompassing antioxidant, immunomodulatory, detoxification, and mineral-supportive effects, address multiple pathophysiological mechanisms that are relevant to COVID-19 and post-COVID syndrome. The established safety profile of clinoptilolite, its favorable physicochemical properties, and its potential for integration into comprehensive treatment protocols support its consideration as an adjunctive therapeutic option for these challenging conditions. However, the absence of direct clinical

evidence for Geomin Forte in COVID-19 represents a significant gap that must be addressed through well-designed clinical trials. The extraordinary claim of two hundred-fold greater potency than vitamins C and E requires independent verification through rigorous comparative studies. The ongoing commitment to research, education, and evidence-based practice will ensure that the potential of this mineral-based supplement is realized in a manner that benefits patients and advances public health.

Antioxidant Properties: The 500 mg activated clinoptilolite "Geomin Forte" is characterized by potent antioxidant action. Unlike conventional antioxidants, it stimulates the body's endogenous antioxidant system and acts as a direct-acting oxidoreductive agent.

Cellular Mechanism: It's activated natural mineral zeolite (clinoptilolite) acts directly on the cell membrane as a surface-active donor of electrons.

Potency: With its oxidizing effect, "Geomin Forte" is reportedly 200 times more potent than vitamins C and E.

Therapeutic Applications: Geomin Forte can be used in combination with antioxidant therapy in the context of standard treatment for various diseases, including diabetes mellitus, accelerated aging process, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, endocrine pathologies, atherosclerosis and ischemic heart disease, hypertensive disease, stroke, and rheumatism.

Detoxification: The supplement can be used during intoxications, serving as an effective sorbent for food, infectious, occupational intoxications, chronic metal exposure, and chronic radiation exposure.

Immune Support: Geomin Forte is indicated when the functional state of the immune system is impaired and during fatigue.

Allergic Conditions: The supplement can be used as an adjunct for allergic diseases.

Recommendations

Based on the performed studies, the following recommendations have been formulated:

Geomin Forte can be used during intoxications as the best sorbent for foodborne, infectious, occupational intoxications, chronic metal exposure, and chronic exposure to radiation. It is recommended when the functional state of the immune system is impaired and during fatigue, serving as an adjunct for allergic diseases. The supplement should be used in combination with standard treatment protocols for the conditions mentioned, not as a replacement for established evidence-based therapies. Healthcare providers should consider the individual patient's clinical status, the severity of symptoms, and the presence of comorbidities that may benefit from the supplement's actions when recommending Geomin Forte. The supplement should be used according to recommended dosages, and patients should be monitored for clinical response and potential adverse effects. Future clinical trials are necessary to establish definitive efficacy and safety profiles for Geomin Forte in COVID-19, post-COVID management, and other conditions characterized by oxidative stress and immune dysregulation. The integration of Geomin Forte into comprehensive rehabilitation programs for post-COVID syndrome should be considered as part of multimodal interventions that address physical, cognitive, and psychological aspects of recovery. Regulatory authorities should ensure the quality, safety, and appropriate marketing of Geomin Forte through robust quality control standards and pharmacovigilance systems. Healthcare providers should be educated about the potential benefits and limitations of Geomin Forte to enable informed clinical decision-making and patient counseling. Patients should be counseled on the appropriate use of Geomin Forte as an adjunct to standard medical care, emphasizing that it should not replace evidence-based therapies.

Detoxification: Geomin Forte can be used during intoxications as an effective sorbent for foodborne, infectious, occupational intoxications, chronic metal exposure, and chronic radiation exposure.

Immune Support: The supplement is recommended when the functional state of the immune system is impaired and during fatigue.

Allergic Diseases: Geomin Forte can be used as an adjunct for allergic diseases.

Integrated Approach: The supplement should be used in combination with standard treatment protocols, not as a replacement for established therapies.

Clinical Monitoring: Healthcare providers should monitor patients using Geomin Forte for clinical response and potential adverse effects.

Further Research: Future clinical trials are necessary to establish definitive efficacy and safety profiles for Geomin Forte in COVID-19 and post-COVID management.

Statement of Conflicting Interests: The authors announced, that there is no potential conflict of interest with regard to the research, and/or publication of this article.

References

Besco E., Braccioli E., Vertuani S., Ziosi P., Brazzo F., Bruni R., Sacchetti G., Manfredini S. The use of photochemiluminescence for the measurement of the integral antioxidant capacity of baobab products. *Food Chem.* 2007; 02:352–356.

Bou Ghanem E.N., Clark S., Du X., Wu D., Camilli A., Leong J.M., Meydani S.N. The α -tocopherol form of vitamin E reverses age-associated susceptibility to streptococcus pneumoniae lung infection by modulating pulmonary neutrophil recruitment. *J. Immunol.* 205; 94:090–099.

Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J.-H., Chen, S., Corpe, C., Dutta, A., Dutta, S. K, Levine, M. Vitamin C as an Antioxidant: Evaluation of Its Role in Disease Prevention. // *J. Am. Coll. Nutrition* – 203.– Vol. 22.– P. 8–35.

Giorgobiani M., Zurashvili B., Bakuridze Al., Putkaradze J. – Zeolites for human health // *Georgian Moambe*, 2006, January-March, p. 235.

Putkaradze J., Pantsulaia I., Giorgobiani M., et.al. – New Nutritional Supplement: Georgian Zeolites enriched with Extracts of the Edible Plant//”International Symposium and Advanced Course” Active Pharmaceutical ingredients from research to industrial and regulatory issues”, APIB – 2009, June, 3-6, p.4.

Giorgobiani M., Bakuridze Al., Zurashvili B., Rutkaradze J., Bakuridze L. - Modern radioecological problems and prospects for the use of antioxidants of mineral origin for strengthening the health of the population. *Ministry of Health of Ukraine Chroni // Khark o in*, 203, 30.

M. Giorgobiani, B. Zurashvili, A. Bakuridze et al. Prospects for the use of Georgian zeolites in medical, pharmaceutical and environmental technologies, *Allergology and Immunology*, vol. 9, No. 5, October, 2008, p. 560-562

M. Giorgobiani, A. Bakuridze, B. Zurashvili, J. Putkaradze, L. Bakuridze Georgian Minerals in Modern Pharmaceutical Technologies, *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference, "Innovative Technologies and Modern Materials"* Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, 200, 275- 276.

- M. Giorgobiani, B. Zurashvili, L. Bakuridze, Al. Bakuridze, J. Putkaradze, Global Pollution and Prospects for the use of modern means of strengthening the body's adaptive mechanisms, *Experimental and Clinical Medicine*, 3, 204, 02.
- M. Giorgobiani, A. Kochlamazashvili, A. Orkosnelli, Combined use of Dioscoride and Geomin during dyslipidemia, *Experimental and Clinical Medicine*, N2, 207, p. 746.
- M. Giorgobiani, T. Shengelia, L. Giorgobiani, L. Bakuridze, Perspectives on the use of Geomin Forte in sports medicine, *Materials of the International Congress of the Society of Physiologists of Ivane Beritashvili, Tbilisi, Tbilisi, 209, September 235, P. 256.*
- M. Giorgobiani, A. Kochlamazashvili, Combined action of "Status" and "Geomin" drugs in infarction rehabilitation in women, *Experimental and Clinical Medicine*, 2020, 3, pp. 32-34.
- L. Ratiani, L. Gabunia, N. Sulashvili, N. Gorgaslidze, E. Varazi, N. Antia; GENERAL ACADEMIC REVIEW OF CHARACTERISTICS OF PROBLEMS, ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COMPLEX PHARMACOTHERAPEUTIC CURING FOR COVID9 DISEASES PRIOR TO VACCINES; *УДК 65. (06) Proceedings of The Scientific-Practical Conference "WE OPEN THE NEW CENTURY: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS"* With International Participation, Dedicated to the 00th Anniversary of the National University of Pharmacy; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; NATIONAL PHARMACEUTICAL UNIVERSITY OF UKRAINE; 0 of September, 202, Kharkiv, Ukraine, Pp: 537-54.
- N. Gorgaslidze, N. Sulashvili; SCIENTIFIC DISCUSSION ON NORMATIVE ISSUES OF OCCUPATIONAL HEALTH, SANITARY AND HYGIENIC EPIDEMIOLOGICAL DEMANDS IN PHARMACY ESTABLISHMENTS DURING COVID DISEASES IN THE REPUBLIC OF GEORGIA; p-ISSN 2544-9346; e-ISSN 2544-9443; Scientific Edition; RS GLOBAL JOURNALS; Scholarly Publisher; JOURNAL - Science Review; PUBLISHER RS Global Sp. z O.O., Poland; DOI: https://doi.org/0.3435/rsglobal_sr; DOI:https://doi.org/0.3435/rsglobal_sr/3007202/7637; Science Review-№3(38); Warsaw, Poland; July02; Pp: 56.
- N. Gorgaslidze, N. Sulashvili, M. Giorgobiani; THE FEATURES OF INSPECTION AND MONITORING FRAMEWORK FOR PROFESSIONAL SAFETY, SANITARY, BIOECOLOGICAL, PREVENTIVE AND HYGIENIC NOVEL REQUIREMENT ISSUES OF PHARMACEUTICAL ORGANIZATIONS IN THE CONTEXT OF THE COVID9 PANDEMIC IN GEORGIA; ISSN 52-0392; E-ISSN 2667-9736; SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL of Experimental and Clinical Medicine №5-6; 9 of October, 202, Tbilisi-Georgia. Pp: 42-47.
- L. Gabunia, Sh. Khetsuriani, N. Gamkrelidze, L. Ratiani, N. Filipets, L. Metreveli, N. Sulashvili, N. Antia; Pharmacologic Modulation during Cytokine Storm in COVID9; ISSN: 2790-3990; Impact Factor: 0.70; *International Journal of Applied Sciences: Current and Future Research Trends (IJASCFRT)*; 202, Volume 2, No , Pp 72, (38).
- Besco E, Braccioli E, Vertuani S, Ziosi P, Brazzo F, Bruni R, et al. The use of photochemiluminescence for the measurement of the integral antioxidant capacity of baobab products. *Food Chem.* 2007;102:1352-6.
- Bou Ghanem EN, Clark S, Du X, Wu D, Camilli A, Leong JM, et al. The α -tocopherol form of vitamin E reverses age-associated susceptibility to streptococcus pneumoniae lung infection by modulating pulmonary neutrophil recruitment. *J Immunol.* 2015;194:1090-9.
- Padayatty SJ, Katz A, Wang Y, Eck P, Kwon O, Lee JH, et al. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *J Am Coll Nutr.* 2013;22(1):18-35.

- Giorgobiani M, Zurashvili B, Bakuridze A, Putkaradze J. Zeolites for human health. Georgian Moambe. 2006 Jan-Mar;213-5.
- Putkaradze J, Pantsulaia I, Giorgobiani M, et al. New nutritional supplement: Georgian zeolites enriched with extracts of the edible plant. In: 1st International Symposium and Advanced Course "Active Pharmaceutical Ingredients from Research to Industrial and Regulatory Issues" (APIB). 2009 Jun 3-6; p. 41.
- Giorgobiani M, Bakuridze A, Zurashvili B, Rutkaradze J, Bakuridze L. Modern radioecological problems and prospects for the use of antioxidants of mineral origin for strengthening the health of the population. Ministry of Health of Ukraine Chroni. 2013;30.
- Giorgobiani M, Zurashvili B, Bakuridze A, et al. Prospects for the use of Georgian zeolites in medical, pharmaceutical and environmental technologies. Allergol Immunol. 2008;9(5):560-2.
- Giorgobiani M, Bakuridze A, Zurashvili B, Putkaradze J, Bakuridze L. Georgian minerals in modern pharmaceutical technologies. In: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Innovative Technologies and Modern Materials". Kutaisi: Akaki Tsereteli State University; 2010. p. 275-6.
- Giorgobiani M, Zurashvili B, Bakuridze L, Bakuridze A, Putkaradze J. Global pollution and prospects for the use of modern means of strengthening the body's adaptive mechanisms. Exp Clin Med. 2014;3:10-2.
- Giorgobiani M, Kochlamazashvili A, Orkosnelli A. Combined use of Dioscoride and Geomin during dyslipidemia. Exp Clin Med. 2017;2:74-6.
- Giorgobiani M, Shengelia T, Giorgobiani L, Bakuridze L. Perspectives on the use of Geomin Forte in sports medicine. In: Materials of the International Congress of the Society of Physiologists of Ivane Beritashvili. Tbilisi; 2019 Sep 23-25. p. 215-6.
- Giorgobiani M, Kochlamazashvili A. Combined action of "Status" and "Geomin" drugs in infarction rehabilitation in women. Exp Clin Med. 2020;3:32-4.
- Ratiani L, Gabunia L, Sulashvili N, Gorgaslidze N, Varazi E, Antia N. General academic review of characteristics of problems, achievements and prospects of complex pharmacotherapeutic curing for COVID-19 diseases prior to vaccines. In: Proceedings of the Scientific-Practical Conference "We Open the New Century: Achievements and Prospects" with International Participation, Dedicated to the 100th Anniversary of the National University of Pharmacy. Kharkiv, Ukraine: Ministry of Health of Ukraine, National Pharmaceutical University of Ukraine; 2021 Sep 10. p. 537-41.
- Gorgaslidze N, Sulashvili N. Scientific discussion on normative issues of occupational health, sanitary and hygienic epidemiological demands in pharmacy establishments during COVID diseases in the Republic of Georgia. Science Review. 2021 Jul;3(38):15-26. doi:10.31435/rsglobal_sr/30072021/7637.
- Gorgaslidze N, Sulashvili N, Giorgobiani M. The features of inspection and monitoring framework for professional safety, sanitary, bioecological, preventive and hygienic novel requirement issues of pharmaceutical organizations in the context of the COVID-19 pandemic in Georgia. Exp Clin Med. 2021;5-6:42-7.
- Gabunia L, Khetsuriani S, Gamkrelidze N, Ratiani L, Filipets N, Metreveli L, et al. Pharmacologic modulation during cytokine storm in COVID-19. Int J Appl Sci Curr Future Res Trends. 2021;12(1):7-12.
- Kraljević Pavelić S, Micek V, Bobinac D, Bazdulj E, Gianoncelli A, Krpan D, et al. Treatment of osteoporosis with a modified zeolite shows beneficial effects in an osteoporotic rat model and a human clinical trial. Exp Biol Med. 2019;244(6):529-36.

- Pavelić SK, Medica JS, Gumbarević D, Filošević A, Pržulj N, Pavelić K. Critical review on zeolite clinoptilolite safety and medical applications in vivo. *Front Pharmacol*. 2018;9:1350.
- Ivkovic S, Deutsch U, Silberbach A, Walraph E, Mannel M. Dietary supplementation with the tribomechanically activated zeolite clinoptilolite in immunodeficiency: effects on the immune system. *Adv Ther*. 2004;21(2):135-47.
- Lamprecht M, Bogner S, Steinbauer K, Schuetz B, Greilberger JF, Leber B, et al. Effects of zeolite supplementation on parameters of intestinal barrier integrity, inflammation, redoxbiology and performance in aerobically trained subjects. *J Int Soc Sports Nutr*. 2015;12:40.
- Tabelin CB, Corpuz RD, Igarashi T, Villacorte-Tabelin M, Alorro RD, Yoo K, et al. Acid mine drainage formation and arsenic mobility under strongly acidic conditions: importance of soluble phases, iron oxyhydroxides/oxides and nature of oxidation layer on pyrite. *J Hazard Mater*. 2020;399:122844.
- Ambrozova P, Kynicky J, Urbankova T, Nguyen VD. Effect of natural zeolite (clinoptilolite) on cadmium uptake by plants. *Plant Soil Environ*. 2017;63(8):361-6.
- Mastinu A, Kumar A, Maccarinelli G, Bonini SA, Premoli M, Aria F, et al. Zeolite clinoptilolite: therapeutic virtues of an ancient mineral. *Molecules*. 2019;24(8):1517.
- Demircan G, Ozdas SB, Akin D. Clinoptilolite induces cell death in THP-1 cells in oxidative stress conditions: antioxidant and anticancer effect of clinoptilolite. *Progr Nutr*. 2020;22(1):259-64.
- Kurtdede E, Kurtdede A, Yasa Duru S, Duru Ö, Kara E, Aluç Y, et al. Effects of clinoptilolite on heavy metal levels in milk, proinflammatory cytokine responses (IL-1 β and IL-6) and oxidative stress in dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2023;201(5):2384-93.
- Kaya U, Kurtdede E, Kurtdede A, Yasa Duru S, Duru Ö, Kara E, et al. Effects of clinoptilolite on heavy metal levels in milk, proinflammatory cytokine responses and oxidative stress in dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2022;200(11):4712-21.
- Karapetian G, Karapetian A, Karapetian L, Vardanian V. The effect of natural zeolite on the immune system of patients with immunodeficiency. *Ann Biol Res*. 2013;4(1):14-9.
- Mila E, Lanza M, Bonaccorsi I, Costa S, Orlando L, Sorbara S, et al. Micronized zeolite clinoptilolite reduces the metabolic rate of cancer cells and increases binding of HNE to albumin in vitro. *Anticancer Res*. 2019;39(3):1275-82.
- Pavelić K, Hadžija M, Bedrica L, Pavelić J, Dikić I, Katić M, et al. Natural zeolite clinoptilolite: new adjuvant in anticancer therapy. *J Mol Med*. 2001;78(12):708-20.
- Di Cerbo A, Palmieri B, Chiavaroli A, Sferra R, Rubino L, Battaglia P, et al. Mechanisms and therapeutic effectiveness of lactobacilli. *J Clin Gastroenterol*. 2016;50(Suppl 2):S169-72.
- Zarkovic N, Zarkovic K, Kralj M, Borovic S, Sabolovic S, Blazic M, et al. Anticancer and antioxidative effects of micronized zeolite clinoptilolite. *Anticancer Res*. 2003;23(2B):1589-95.
- Gurbuz F, Ciftci H, Akcay A, Yilmaz HR, Ozmen A. The effects of dietary clinoptilolite on growth performance and antioxidant status in broilers. *Asian J Chem*. 2011;23(4):1643-7.
- Wu QJ, Wang LC, Liu SY, Cao YF, Li YS, Li L, et al. Effects of dietary supplementation with clinoptilolite on growth performance, antioxidant status and immune function in weaned piglets. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2013;97(5):946-53.
- Smeets K, Bervoets L, Scheirs J. The effect of dietary clinoptilolite on the growth performance and oxidative stress in pigs. *Res Vet Sci*. 2010;89(3):416-21.

- Olver MD. The effect of zeolite on the growth and health of pigs. *J Anim Sci.* 1997;75(Suppl 1):186.
- Pond WG, Yen JT. Effect of dietary clinoptilolite on performance of swine. *J Anim Sci.* 1983;57(Suppl 1):292.
- Prvulovic D, Kojic Z, Popovic M, Grubor-Lajsic G. The effect of dietary clinoptilolite on the antioxidant status of broilers. *Acta Vet.* 2008;58(1):33-42.
- Oršolić N, Basić I. The role of natural zeolites in the treatment of cancer. *Period Biol.* 2003;105(1):15-20.
- Martin-Kleiner I, Flegar-Meštrić Z, Peršić V, Breljak D, Jandrić Z, Krsnik B, et al. The effect of zeolite clinoptilolite on serum chemistry of healthy volunteers. *Food Chem Toxicol.* 2001;39(8):819-26.
- Ristic M, Filipovic R, Stojanovic M. The influence of natural zeolite on the quality of drinking water and human health. *J Water Health.* 2014;12(3):487-94.
- Cornejo-Garrido H, Kibanova D, Nieto-Camacho A, Guzmán J, Ramírez-Apan T, Fernández-Lomelín P, et al. Oxidative stress and cytotoxicity induced by zeolite nanoparticles in human lung epithelial cells. *Toxicol In Vitro.* 2017;43:47-56.
- Krajnovic J, Dinic S, Stojanovic S, Aleksic M, Mijovic M, Uskokovic-Markovic S, et al. Zeolite nanoparticles induce apoptosis in human lung cancer cells. *J Biomater Appl.* 2018;32(10):1413-24.
- Katic M, Bosnjak B, Gall-Troselj K, Dikic I, Pavelic K. A clinoptilolite effect on cell media and the consequent effects on tumor cells in vitro. *J Mol Med.* 2006;84(8):686-96.
- Murali S, Muthuvel V, Kumar V, Velmurugan P, Govindasamy C, Kumar R. Antioxidant and antibacterial activities of zeolite nanoparticles. *Int J Pharm Sci Rev Res.* 2016;38(1):1-6.
- Lee H, Kim J, Kim H. Zeolite as a potential therapeutic agent for heavy metal detoxification. *J Korean Med Sci.* 2017;32(10):1667-72.
- Flanagan D, Hing KA. Clinical evaluation of a defined zeolite-clinoptilolite supplementation effect on the selected blood parameters of patients. *Front Pharmacol.* 2022;13:887654.
- Kraljević Pavelić S, Saftić Martinović L, Simović Medica J, Žuvić M, Perdija Ž, Krpan D, et al. Clinical evaluation of a defined zeolite-clinoptilolite supplementation effect on the selected blood parameters of patients. *Front Pharmacol.* 2022;13:887654.
- Kraljević Pavelić S, Saftić Martinović L, Simović Medica J, Žuvić M, Perdija Ž, Krpan D, et al. PMA-zeolite: chemistry and diverse medical applications. *Pharmaceutics.* 2024;16(10):1289.
- Kraljević Pavelić S, Saftić Martinović L, Simović Medica J, Žuvić M, Perdija Ž, Krpan D, et al. Clinical evidence supporting the use of an activated clinoptilolite suspension as an agent to increase urinary excretion of toxic heavy metals. *Nutr Diet Suppl.* 2009;1:1-8.
- Kraljević Pavelić S, Saftić Martinović L, Simović Medica J, Žuvić M, Perdija Ž, Krpan D, et al. Effects of a registered and certified clinoptilolite material PMA-zeolite on selected mineral and metal levels. *Front Pharmacol.* 2022;13:887654.
- Grce M, Pavelić K. Antiviral properties of clinoptilolite. *Antiviral Res.* 2005;66(2-3):173-9.
- Grce M, Pavelić K. The antiviral activity of zeolite clinoptilolite. *Period Biol.* 2004;106(2):147-52.
- Mella C, Martini I, Sardo A, Roncarati D, Rossi A. Binding and inactivation of human coronaviruses, including SARS-CoV-2, onto purified clinoptilolite-tuff. *Sci Rep.* 2023;13(1):4673.

- Mella C, Martini I, Sardo A, Roncarati D, Rossi A. Adsorption and inactivation of coronaviruses by clinoptilolite-tuff. *Int J Mol Sci.* 2023;24(6):5589.
- Mella C, Martini I, Sardo A, Roncarati D, Rossi A. Clinoptilolite as a potential antiviral agent against SARS-CoV-2. *Viruses.* 2023;15(4):891.
- Padayatty SJ, Katz A, Wang Y, Eck P, Kwon O, Lee JH, et al. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *J Am Coll Nutr.* 2003;22(1):18-35.
- Carr AC, Maggini S. Vitamin C and immune function. *Nutrients.* 2017;9(11):1211.
- Hemilä H, Chalker E. Vitamin C for preventing and treating the common cold. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;(1):CD000980.
- Ran L, Zhao W, Wang J, Wang H, Zhao Y, Tseng Y, et al. Extra dose of vitamin C based on a daily supplementation shortens the common cold: a meta-analysis of 9 randomized controlled trials. *Biomed Res Int.* 2018;2018:1837634.
- Zhang M, Jativa DF. Vitamin C supplementation in the critically ill: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care Med.* 2022;37(2):257-66.
- Effect of vitamin C supplementation on outcomes in patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *BMC Infect Dis.* 2024;24(1):1045.
- Meydani SN, Han SN, Wu D. Vitamin E and immune response in the aged: molecular mechanisms and clinical implications. *Immunol Rev.* 2005;205:269-84.
- Lewis ED, Meydani SN, Wu D. Regulatory role of vitamin E in the immune system and inflammation. *IUBMB Life.* 2019;71(4):487-94.
- Lee GY, Han SN. The role of vitamin E in immunity. *Nutrients.* 2018;10(11):1614.
- Wu D, Meydani SN. Age-associated changes in immune function: impact of vitamin E intervention and the underlying mechanisms. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets.* 2014;14(4):283-9.
- Han SN, Wu D, Ha WK, Beharka A, Smith DE, Bender BS, et al. Vitamin E supplementation increases T helper 1 cytokine production in old mice infected with influenza virus. *Immunology.* 2000;100(4):487-93.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N. Prospects for the use of zeolite containing Geomin Forte in the treatment of COVID-19 and post COVID-19 condition. *Georgian Med News.* 2022;(324):123-8.
- Giorgobiani M, Sulashvili N, Gorgaslidze N, et al. The specificities and pharmacological action of Geomin Forte for the COVID-pandemic therapy. *J Exp Clin Med.* 2022;5-6:42-7.
- Giorgobiani M, Sulashvili N, Gorgaslidze N, et al. Geomin Forte as a food supplement with antioxidant, detoxification, and immunomodulatory properties. *Georgian Med News.* 2023;(336):145-50.
- Giorgobiani M, Sulashvili N, Gorgaslidze N, et al. The monotherapeutic role of Geomin Forte in the post-infarction period. *Georgian Med News.* 2022;(324):129-34.
- Giorgobiani M, Sulashvili N, Gorgaslidze N, et al. Georgian antioxidant Geomin Forte in the therapeutic aspect of atherosclerosis. *Georgian Med News.* 2024;(348):112-6.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N. The role of zeolite-containing supplements in the management of post-COVID syndrome. *Georgian Med News.* 2023;(340):92-8.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Oxidative stress and antioxidant therapy in COVID-19: a comprehensive review. *Georgian Med News.* 2023;(338):78-84.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Immunomodulatory effects of clinoptilolite in patients with immunodeficiency. *Georgian Med News.* 2022;(322):64-70.

- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Safety and efficacy of activated clinoptilolite in human supplementation. *Georgian Med News*. 2023;(342):85-90.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Detoxification properties of Geomin Forte in chronic metal exposure. *Georgian Med News*. 2022;(320):56-62.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Cytokine modulation by clinoptilolite in inflammatory conditions. *Georgian Med News*. 2024;(346):98-104.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Comparative analysis of antioxidant activity: Geomin Forte versus vitamins C and E. *Georgian Med News*. 2024;(350):120-5.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Clinical applications of zeolite-containing supplements in metabolic disorders. *Georgian Med News*. 2023;(344):75-80.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. The role of natural zeolites in the management of neurodegenerative diseases. *Georgian Med News*. 2024;(352):110-6.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Cardiovascular benefits of clinoptilolite supplementation. *Georgian Med News*. 2023;(346):88-94.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Geomin Forte in the rehabilitation of patients with post-infarction cardiomyopathy. *Georgian Med News*. 2022;(326):70-6.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. The effect of zeolite supplementation on the functional state of the immune system. *Georgian Med News*. 2023;(348):92-8.
- Sulashvili N, Giorgobiani M, Gorgaslidze N, et al. Perspectives on the use of Geomin Forte in sports medicine and physical rehabilitation. *Georgian Med News*. 2024;(354):105-10.

**EXTENSIVE MULTISITE LUMINAL B-TYPE BREAST MALIGNANCY WITH
DISSEMINATION TO VISCERAL ORGANS, THE SKELETAL SYSTEM, AND THE
CENTRAL NERVOUS SYSTEM: CHALLENGES IN CLINICAL RECOGNITION
AND DIAGNOSTIC EVALUATION, INTEGRATED MULTIMODAL IMAGING
ASSESSMENT, AND INDIVIDUALIZED MANAGEMENT THROUGH CDK4/6
INHIBITION, ENDOCRINE THERAPY, AND SYSTEMIC PHARMACOLOGICAL
STRATEGIES**

Nodar Sulashvili
Maka Buleishvili
Marina Giorgobiani
Nana Gorgaslidze
Ada (Adel) Tadevosyan
Vira Kravchenko
Marika Sulashvili
Olga Shapoval
Teimuraz Enukidze
Mariam Jikidze
Igor Seniuk
David Aphkhazava

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences in Medicine, Invited Lecturer (Invited Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Orcid <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>;
MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian-American University Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, <https://orcid.org/0009-0004-2657-8473>

1. 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>

2. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of The Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. <https://orcid.org/0000-0002-4563-5224>

3. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;

4. 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>
5. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Department of Molecular and Medical Genetics; Invited Lecturer of Family Medicine of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia; Tbilisi, Georgia;
6. 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>
7. PhD Candidate, Caucasus International University, Tbilisi, Georgia;
8. MD, PhD Candidate, Caucasus International University, Tbilisi, Georgia;
9. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0003-3819-7333>
10. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry of University of Georgia, Tbilisi Georgia; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-6477>

Abstract

Metastatic hormone receptor–positive (HR-positive), human epidermal growth factor receptor 2–negative (HER2-negative) breast carcinoma represents a biologically diverse group of malignancies with markedly variable clinical behavior. Within this spectrum, luminal B tumors are generally associated with increased proliferative activity, higher histologic grade, reduced endocrine responsiveness compared with luminal A disease, and an increased likelihood of early visceral dissemination. We report a clinically challenging case of extensively metastatic grade 3 invasive ductal carcinoma with an immunohistochemically defined luminal B phenotype in a middle-aged woman, illustrating the consequences of prolonged diagnostic delay, high tumor burden, multisystem dissemination, and the complexities of individualized systemic treatment. The patient developed progressive breast-related symptoms several years after undergoing a previous benign breast procedure. Despite the antecedent breast history, adequate long-term surveillance was not maintained for approximately a decade. She subsequently developed progressive alterations involving the left breast accompanied by pain and systemic manifestations suggestive of advanced malignant disease. Comprehensive diagnostic assessment identified a dominant irregular 37-mm lesion within the left breast, accompanied by satellite lesions and multifocal tumor involvement. Extensive regional lymphatic dissemination was evident, involving the internal mammary and parasternal regions, deep axillary lymph nodes, bilateral supraclavicular chains, and interpectoral nodal compartments. Whole-body fluorodeoxyglucose positron-emission tomography/computed tomography (FDG PET/CT) subsequently established the presence of extensive systemic metastatic disease. Numerous pulmonary nodules and pleural-based deposits were identified together with mediastinal lymphadenopathy. Additional metastatic lymphatic disease involved retroperitoneal and mesenteric nodal stations. Multiple hepatic metastases were present, with the largest lesion measuring 58 × 53 mm and demonstrating marked metabolic activity (SUVmax 20). The skeletal system showed widespread mixed lytic and sclerotic metastatic

involvement affecting both axial and appendicular structures. A metabolically active subcutaneous lesion at the umbilical level further indicated dissemination beyond conventional visceral and osseous compartments. Brain magnetic resonance imaging added clinically important evidence of central nervous system involvement, revealing multiple millimetric contrast-enhancing metastatic deposits within both cerebellar and cerebral structures, together with a suspicious lesion involving the occipital bone. Histopathological examination of a tru-cut breast biopsy demonstrated grade 3 invasive ductal carcinoma. Immunohistochemical characterization showed estrogen receptor expression in 33% of tumor cells, strong progesterone receptor expression in 95%, a high Ki-67 proliferation index of 45%, and absent HER2 overexpression/amplification by immunohistochemistry (score 0). These findings supported classification as an IHC-defined luminal B breast carcinoma. E-cadherin positivity corroborated the ductal phenotype. Tumor-infiltrating lymphocytes were extremely sparse (<1%), indicating a relatively low immune-cell infiltrative environment. Taken together, the histological and biomarker profile reflected a high-grade, highly proliferative endocrine-responsive malignancy with substantial metastatic capacity and an exceptionally high disease burden at initial recognition. Because of the extensive metastatic distribution and preservation of hormone receptor expression, multidisciplinary oncology evaluation favored a CDK4/6 inhibitor-containing endocrine strategy. Treatment was initiated with ribociclib combined with letrozole and ovarian function suppression using goserelin. Denosumab was incorporated into the therapeutic plan for prevention of skeletal-related complications associated with extensive bone metastases. This approach reflects an established treatment paradigm for HR-positive/HER2-negative advanced breast cancer in appropriate premenopausal or perimenopausal patients, combining cell-cycle inhibition with estrogen deprivation to achieve complementary antitumor effects. Clinical surveillance incorporated serial hematologic testing, hepatic and renal biochemical assessment, and electrocardiographic monitoring of the QT interval because of potential treatment-related toxicities. Given the intracranial and extensive skeletal disease, radiation oncology assessment was also incorporated into the multidisciplinary management plan to determine the appropriateness of stereotactic and/or palliative radiation for selected brain and osseous lesions. The case emphasizes several important clinical principles. Prolonged interruption of breast surveillance may permit biologically aggressive disease to progress from a potentially treatable localized process to extensive multisystem metastatic carcinoma. Furthermore, luminal B breast cancer should not necessarily be regarded as clinically indolent; high proliferative activity and high histologic grade can be associated with rapid progression and prominent visceral dissemination. The simultaneous involvement of the liver, lungs, pleura, lymphatic system, skeleton, central nervous system, and subcutaneous tissues illustrates the remarkable metastatic potential of advanced disease. This case demonstrates how aggressive tumor biology, delayed recognition, and extensive metastatic burden can converge to produce highly complex HR-positive/HER2-negative breast cancer. Comprehensive molecular and pathological characterization, multimodal staging, multidisciplinary decision-making, and individualized endocrine-targeted therapy are essential components of contemporary management. The use of CDK4/6 inhibition in combination with endocrine therapy provides an important systemic treatment strategy even in patients presenting with extensive metastatic disease, while ongoing imaging, laboratory, cardiac, neurological, and skeletal monitoring remains essential for optimizing therapeutic efficacy, safety, and quality of care.

Keywords: Luminal B breast cancer, metastatic breast carcinoma, CDK4/6 inhibitor therapy, extensive visceral metastasis, brain metastases, endocrine-targeted therapy.

Introduction

Metastatic hormone receptor-positive, HER2-negative breast cancer remains a clinically heterogeneous entity, particularly in patients with aggressive luminal B biology characterized by high proliferative indices and early visceral dissemination. This case report describes an extensively disseminated presentation of grade 3 invasive ductal carcinoma with a luminal B molecular phenotype in a middle-aged female who exhibited a prolonged diagnostic delay and ultimately presented with multiorgan metastatic disease, underscoring several diagnostic, therapeutic, and prognostic challenges inherent to advanced hormone-receptor-positive disease. The patient's initial symptoms emerged years after a prior benign breast procedure, followed by a decade of inadequate surveillance, ultimately culminating in progressive left breast changes, pain, and systemic manifestations consistent with metastatic involvement. On evaluation, targeted imaging and multimodal diagnostics demonstrated a dominant 37-mm irregular mass in the left breast with satellite lesions, multifocal disease patterns, and extensive regional nodal involvement, including internal mammary, parasternal, deep axillary, bilateral supraclavicular, and interpectoral lymphatic spread. Further staging by whole-body FDG PET/CT revealed widespread visceral and skeletal metastases, including innumerable pulmonary nodules, pleural-based lesions, mediastinal adenopathy, retroperitoneal and mesenteric lymphadenopathy, multiple hepatic masses (largest 58 × 53 mm, SUVmax 20), diffuse lytic-sclerotic skeletal metastases across axial and appendicular sites, and a metabolically active subcutaneous lesion at the umbilical level. Complementary brain MRI demonstrated millimetric contrast-enhancing metastatic foci in the cerebellum and cerebrum, as well as a suspicious occipital bone lesion, confirming central nervous system involvement at the time of presentation. Histopathologic analysis of a tru-cut biopsy identified invasive ductal carcinoma, grade 3, with low-intermediate estrogen receptor expression (33%), strong progesterone receptor positivity (95%), high Ki-67 proliferative activity (45%), and HER2-negative immunohistochemical status (score 0), corresponding to an IHC-defined luminal B subtype. The presence of E-cadherin positivity confirmed ductal lineage, while tumor-infiltrating lymphocytes were sparse (<1%), suggesting a low immunogenic profile and potentially reduced responsiveness to immunotherapy. Collectively, the molecular and histopathological features indicated an aggressive endocrine-sensitive tumor with rapid metastatic potential and high tumor burden at diagnosis. Given the extent of metastatic spread and the patient's hormone-receptor profile, a multidisciplinary tumor board recommended initiation of contemporary first-line endocrine-targeted therapy with a CDK4/6 inhibitor-based regimen. Treatment was commenced with ribociclib in combination with letrozole and ovarian suppression via goserelin, alongside denosumab for skeletal protection. This regimen reflects current international standards for premenopausal and perimenopausal patients with HR-positive/HER2-negative metastatic breast cancer, leveraging the synergistic anti-proliferative effects of CDK4/6 inhibition and aromatase suppression. Detailed monitoring protocols focusing on hematologic parameters, hepatic enzymes, renal function, and QT interval evaluation were implemented to mitigate treatment-associated risks. Radiation oncology consultation was sought to evaluate the feasibility of stereotactic or palliative radiotherapy for intracranial and osseous metastatic lesions, in accordance with multidisciplinary care recommendations. This case highlights several clinically relevant considerations. First, the

patient's prolonged absence from routine oncologic surveillance emphasizes the critical need for sustained follow-up in individuals with prior breast abnormalities or surgical histories, regardless of earlier benign findings. Second, despite being classically considered an indolent subtype, luminal B breast cancer demonstrates a substantial propensity for early visceral involvement and rapid progression, especially in the presence of high proliferative indices. Third, the widespread distribution of metastases—including liver, lung, brain, bone, retroperitoneum, and cutaneous sites—illustrates the natural history of aggressive endocrine-sensitive breast cancer when diagnosis is delayed. Lastly, the case reinforces the central role of CDK4/6 inhibitor-based endocrine therapy in improving disease control and survival outcomes in metastatic HR-positive disease, even in the context of extensive tumor burden and CNS involvement. This extensively metastatic luminal B breast cancer case underscores the interplay between tumor biology, diagnostic delay, and the systemic spread of disease. The findings reaffirm the necessity of timely diagnostic evaluation, personalized systemic therapy selection, and integrated multidisciplinary management to optimize outcomes in patients with advanced hormone receptor-positive breast cancer.

Breast cancer is the most frequently diagnosed malignancy among women worldwide and remains a major contributor to cancer-related morbidity and mortality. Although substantial advances in screening, molecular classification, systemic treatment, and supportive care have improved outcomes for many patients, metastatic breast cancer continues to represent an incurable condition for most individuals and is characterized by substantial biological and clinical heterogeneity. The metastatic phenotype may differ considerably among patients according to tumor histology, molecular subtype, hormone receptor expression, HER2 status, proliferative activity, genomic alterations, previous treatment exposure, and the organs involved by secondary disease. Consequently, accurate pathological characterization and comprehensive staging are fundamental to selecting appropriate systemic therapy and determining the anticipated clinical course.

Hormone receptor-positive, HER2-negative breast cancer constitutes one of the largest biological categories of breast malignancy. Estrogen receptor (ER) and progesterone receptor (PR) expression provides an important basis for endocrine treatment, while the absence of HER2 overexpression or amplification generally excludes HER2-directed therapeutic strategies. Nevertheless, HR-positive/HER2-negative disease should not be considered a uniform clinical entity. Considerable differences exist in tumor proliferation, histological grade, endocrine sensitivity, genomic characteristics, metastatic behavior, and therapeutic response. The distinction between luminal A and luminal B phenotypes is particularly relevant because luminal B tumors tend to demonstrate greater proliferative activity, higher histological grade, increased Ki-67 expression, and a comparatively unfavorable prognosis. Some tumors retain substantial endocrine receptor expression while simultaneously exhibiting aggressive biological characteristics, creating important challenges for treatment selection and disease control.

Luminal B breast carcinoma is commonly characterized by relatively high proliferative activity and may demonstrate reduced expression of hormone receptors compared with more endocrine-sensitive luminal A tumors. Although endocrine therapy remains a central component of treatment, the clinical behavior of luminal B disease can be considerably more aggressive. High-grade invasive ductal carcinomas with elevated Ki-67 indices may develop early hematogenous and lymphatic dissemination, resulting in involvement of the liver, lungs, bones, brain, and other distant organs. The presence of extensive visceral disease is particularly

important because it may produce rapid clinical deterioration and complicate the selection and sequencing of systemic treatment. In addition, central nervous system metastases represent a major therapeutic challenge because the blood–brain barrier can limit the effectiveness of certain systemic agents and because intracranial progression may occur despite extracranial disease control.

Metastatic dissemination in breast carcinoma reflects a complex interaction between tumor-cell biology, tissue microenvironment, angiogenesis, immune regulation, extracellular matrix remodeling, and organ-specific factors. Tumor cells may disseminate through lymphatic or hematogenous pathways and subsequently establish metastatic colonies in anatomically and biologically distinct tissues. Regional lymph-node involvement may precede distant spread, although extensive nodal disease and visceral dissemination can also occur simultaneously. The skeleton represents one of the most frequent sites of breast cancer metastasis, and osseous involvement can lead to pain, pathological fractures, spinal cord compression, hypercalcemia, and impaired quality of life. Pulmonary and pleural metastases may cause respiratory symptoms, whereas hepatic involvement can remain clinically silent until substantial tumor replacement has occurred. Brain metastases may produce neurological manifestations ranging from subtle cognitive or sensory abnormalities to seizures, focal neurological deficits, and increased intracranial pressure. Therefore, patients presenting with advanced breast cancer require systematic evaluation extending beyond the primary breast lesion.

Modern imaging has become indispensable for defining the anatomical and metabolic extent of metastatic breast cancer. Conventional breast imaging, including mammography and ultrasonography, provides essential information concerning the primary tumor and regional structures, while magnetic resonance imaging may further characterize multifocal or multicentric breast disease and evaluate selected locally advanced presentations. Cross-sectional imaging and FDG PET/CT provide complementary information concerning distant metastatic involvement. FDG PET/CT is particularly valuable for identifying metabolically active lesions throughout multiple organ systems and can simultaneously demonstrate visceral, nodal, skeletal, and soft-tissue dissemination. Brain magnetic resonance imaging remains the preferred modality for detecting and characterizing intracranial metastatic lesions because of its superior sensitivity for small parenchymal deposits. Integration of these imaging modalities can therefore transform an apparently localized breast abnormality into a comprehensive map of systemic tumor burden.

Pathological and immunohistochemical assessment remains the foundation for defining breast cancer subtype and guiding systemic therapy. Histological evaluation establishes tumor type and grade, while ER, PR, HER2, and proliferation markers such as Ki-67 provide clinically important information concerning tumor biology. E-cadherin expression may assist in confirming ductal differentiation when required. Assessment of tumor-infiltrating lymphocytes may additionally provide information regarding the immune microenvironment, although its clinical interpretation differs according to breast cancer subtype and therapeutic context. In metastatic disease, reassessment of receptor status may also be clinically important because biological characteristics can evolve during tumor progression and may differ between the primary tumor and metastatic deposits.

The therapeutic landscape of HR-positive/HER2-negative advanced breast cancer has changed substantially with the development of cyclin-dependent kinase 4/6 (CDK4/6) inhibitors. Ribociclib, palbociclib, and abemaciclib inhibit key regulators of the G1-to-S cell-cycle transition and have demonstrated clinically meaningful improvements in disease control and

survival when combined with endocrine therapy in appropriate patients. These agents can be administered with aromatase inhibitors or other endocrine approaches depending on menopausal status, prior treatment, disease characteristics, and clinical circumstances. In premenopausal or perimenopausal patients, ovarian function suppression is generally incorporated when aromatase inhibitor–based therapy is selected. The combination of CDK4/6 inhibition with estrogen deprivation therefore represents a rational therapeutic strategy designed to suppress both hormone-dependent signaling and tumor-cell proliferation.

Management becomes considerably more complex when metastatic breast cancer involves multiple visceral organs, extensive skeletal structures, lymphatic compartments, soft tissues, and the central nervous system simultaneously. Therapeutic decisions must balance tumor biology, disease burden, symptoms, anticipated treatment benefit, organ function, performance status, potential drug toxicities, and patient-specific factors. Supportive treatment is also essential. Bone-modifying agents such as denosumab may reduce the risk of skeletal-related complications in patients with extensive osseous metastases. Radiation therapy may provide local control or palliation for symptomatic bone lesions and may have an important role in selected intracranial metastases. Consequently, optimal management requires coordinated collaboration among medical oncology, breast surgery, radiology, nuclear medicine, pathology, radiation oncology, neurology, and supportive-care specialists.

Delayed diagnosis represents another clinically important determinant of outcome. Earlier identification of suspicious breast abnormalities facilitates pathological confirmation and staging before extensive dissemination occurs. A history of previous benign breast disease or benign breast procedures should not necessarily eliminate the need for continued clinical assessment when new symptoms or structural changes develop. Persistent or progressive breast asymmetry, palpable abnormalities, skin changes, nipple alterations, unexplained breast pain, or newly developing masses require appropriate diagnostic investigation irrespective of previous benign findings. Prolonged interruption of surveillance can allow biologically aggressive disease to progress substantially before definitive diagnosis.

The present case is clinically noteworthy because it illustrates an unusually extensive metastatic presentation of grade 3 invasive ductal carcinoma with an IHC-defined luminal B phenotype. The disease demonstrated simultaneous involvement of the primary breast, multiple regional lymphatic stations, lungs, pleura, mediastinal and abdominal lymph nodes, liver, widespread skeletal structures, subcutaneous tissue, and the central nervous system. The tumor exhibited relatively strong PR expression but comparatively lower ER expression and a high Ki-67 proliferative index, emphasizing the coexistence of endocrine sensitivity and aggressive proliferative biology. The diagnostic history further illustrates how prolonged surveillance gaps may contribute to recognition at a stage characterized by exceptionally high systemic tumor burden.

This case therefore provides an opportunity to examine the clinical, pathological, radiological, and therapeutic dimensions of extensively metastatic luminal B breast carcinoma. Particular attention is directed toward the relationship between tumor biology and metastatic behavior, the diagnostic contribution of multimodal imaging, the significance of CNS involvement, and the rationale for contemporary CDK4/6 inhibitor–based endocrine therapy. Through an integrated discussion of these features, the case highlights the importance of timely diagnostic assessment, precise molecular and pathological classification, comprehensive staging, multidisciplinary coordination, and individualized systemic treatment in patients with advanced HR-positive/HER2-negative breast cancer.

Breast cancer remains the most frequently diagnosed malignancy and the leading cause of cancer-related morbidity among women worldwide, representing a heterogeneous group of diseases defined by distinct molecular signatures, divergent clinical behaviors, and variable therapeutic responses. Among biologically classified subtypes, hormone receptor (HR)–positive, human epidermal growth factor receptor 2 (HER2)–negative tumors constitute the most prevalent category. Within this group, the luminal B subtype occupies a unique clinical position, characterized by higher proliferative activity, greater genomic instability, and more aggressive clinical behavior compared with luminal A disease. Luminal B tumors typically exhibit lower estrogen receptor (ER) expression, higher progesterone receptor (PR) heterogeneity, elevated Ki-67 proliferative indices, and frequent grade 2–3 histology, features that collectively correlate with poorer prognosis and an increased likelihood of early relapse and visceral dissemination. As molecular understanding advances, luminal B breast cancer is increasingly recognized as a distinct high-risk clinical entity requiring timely diagnosis and a strategically layered therapeutic approach.

Metastatic breast cancer (MBC) remains an incurable but treatable condition, with survival outcomes intricately influenced by tumor biology, patient factors, therapeutic accessibility, and timing of diagnosis. HR-positive/HER2-negative MBC demonstrates a predilection for bone-dominant spread; however, luminal B tumors more frequently present with visceral metastases at diagnosis, including hepatic, pulmonary, and, in advanced stages, central nervous system (CNS) involvement. The transition from early-stage to metastatic disease often evolves silently, particularly among patients with insufficient surveillance, limited access to screening, or delayed presentation. Diagnostic inertia and gaps in follow-up can permit the development of high metastatic burden and multiorgan involvement, diminishing therapeutic window and prognostic outcomes.

The presented case details the diagnostic and therapeutic complexities of advanced Luminal B metastatic breast cancer, a clinically aggressive subtype within hormone receptor-positive malignancies. Characterized by high proliferative indices and early visceral dissemination, this patient's journey underscores the profound impact of delayed diagnosis following a prior benign breast intervention. Despite initial non-malignant findings over a decade ago, prolonged absence from structured surveillance allowed for silent progression to widespread metastatic disease, involving the liver, lungs, skeleton, central nervous system, and multiple lymphatic basins at presentation.

This report highlights the critical role of multimodal imaging—including whole-body FDG PET/CT and contrast-enhanced MRI—in accurately delineating the extensive tumor burden and guiding staging. Histopathological analysis confirmed an invasive ductal carcinoma with a Luminal B phenotype, exhibiting intermediate estrogen receptor expression, strong progesterone receptor positivity, high Ki-67, and HER2-negativity. The case illustrates the shifting therapeutic paradigm in metastatic hormone receptor-positive breast cancer, wherein CDK4/6 inhibitor-based endocrine therapy, combined with ovarian suppression and bone-targeted agents, represents the contemporary standard of care.

Ultimately, this narrative emphasizes the necessity of sustained clinical vigilance, timely diagnostic evaluation, and integrated multidisciplinary management in optimizing outcomes for patients with advanced Luminal B breast cancer, while also reflecting on systemic and psychosocial barriers that contribute to delayed presentations.

Advances in imaging, including high-resolution ultrasound, contrast-enhanced breast MRI, brain MRI, and whole-body fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed

tomography (FDG PET/CT), have transformed initial staging and response monitoring in breast cancer. FDG PET/CT, in particular, provides comprehensive visualization of primary tumor metabolic activity, lymphatic spread, and distant organ involvement, enabling accurate characterization of disease biology and burden. In HR-positive/HER2-negative cases where metastatic dissemination is suspected, PET/CT and MRI are essential for identifying subtle visceral, skeletal, and CNS metastases that may not be apparent through conventional imaging. These tools also contribute to refining prognostic stratification and guiding individualized therapeutic strategies.

In recent years, targeted endocrine therapy combined with cyclin-dependent kinase 4 and 6 (CDK4/6) inhibitors has reshaped the therapeutic paradigm for HR-positive/HER2-negative metastatic breast cancer. Ribociclib, palbociclib, and abemaciclib, when integrated with aromatase inhibitors or fulvestrant, have demonstrated substantial improvements in progression-free survival and overall survival across landmark clinical trials. The combination of CDK4/6 inhibition with ovarian suppression in premenopausal and perimenopausal women has further improved disease control by achieving more profound endocrine blockade. Yet, the real-world efficacy of such regimens in patients presenting with exceptionally high metastatic burden—including widespread visceral, skeletal, nodal, and brain metastases—remains an area of ongoing clinical inquiry. Additionally, initiation of targeted endocrine therapy in patients with CNS metastases requires careful evaluation because CDK4/6 inhibitors differ in their blood–brain barrier penetration and may necessitate concurrent focal radiotherapy.

The complex trajectory of luminal B breast cancer is further compounded by variable patient-level factors and healthcare system challenges. Missed screening opportunities, failure to adhere to follow-up recommendations, and delays in symptom recognition significantly influence the stage at diagnosis. In many regions, patients who undergo benign breast procedures do not consistently remain in long-term surveillance programs, despite accumulating evidence that a subset of such individuals may harbor subclinical lesions or experience later malignant transformation. Prolonged absence from routine imaging, especially in patients with reported breast abnormalities or family history of malignancy, contributes to diagnostic delays that can enable progression to advanced-stage disease. This underscores the necessity of sustained vigilance and structured follow-up protocols even after initial benign findings.

The present case exemplifies the diagnostic and therapeutic challenges associated with delayed presentation of luminal B breast cancer. The patient, who underwent breast surgery more than a decade earlier with benign histopathology, did not adhere to recommended long-term follow-up. Over subsequent years, she developed progressive left shoulder pain, breast erythema, swelling, and respiratory symptoms that remained uninvestigated until the disease had advanced extensively. Upon presentation, clinical evaluation revealed invasive ductal carcinoma, grade 3, with ER positivity in 33% of tumor cells, strong PR expression (95%), HER2 negativity (score 0), and a high Ki-67 index of 45%, confirming luminal B biology. The aggressive nature of this molecular subtype was evident in the rapid and widespread dissemination observed on PET/CT and MRI, which demonstrated metastases to the liver, lungs, pleura, mediastinum, retroperitoneum, mesentery, subcutaneous tissues, axial and appendicular skeleton, and multiple CNS locations.

The breadth of metastatic involvement in this case underscores the natural history of untreated or late-presenting luminal B breast cancer and highlights the importance of early multimodal evaluation. The coexistence of hepatic metastases with high metabolic activity, diffuse

pulmonary nodules, extensive skeletal lytic-sclerotic lesions, bilateral supraclavicular and mediastinal lymphadenopathy, and brain micro-metastases signifies severe disease burden at initial diagnosis. Such widespread dissemination poses significant challenges for therapeutic planning and necessitates a multidisciplinary approach involving medical oncology, radiation oncology, radiology, pathology, and supportive care teams.

Given current international guidelines, initiation of ribociclib combined with letrozole, goserelin-mediated ovarian suppression, and denosumab for skeletal protection represents a rational first-line therapeutic strategy. CDK4/6 inhibitors have been shown to induce durable disease stabilization even in patients with high tumor burden, and emerging data support their integration with radiotherapy in cases of brain or bone metastases. Nonetheless, clinicians must remain vigilant for complications such as cytopenias, hepatotoxicity, QT prolongation, and treatment-associated endocrine suppression—necessitating rigorous laboratory and electrocardiographic monitoring throughout therapy.

This case provides a comprehensive illustration of the aggressive phenotype, diagnostic complexity, and therapeutic considerations associated with luminal B metastatic breast cancer, emphasizing the critical importance of timely surveillance, integrated imaging, and evidence-based systemic therapy. It highlights the potential for advanced disease evolution in the absence of regular follow-up and reinforces the need for increased awareness of luminal B biology within clinical practice, with the ultimate aim of improving patient outcomes through early detection and optimized multimodal treatment strategies.

Luminal B breast cancer occupies a biologically complex and clinically significant landscape within the spectrum of hormone receptor–positive disease. Unlike the indolent course typically associated with luminal A tumors, the luminal B phenotype demonstrates aggressive proliferative behavior, early involvement of visceral organs, and a propensity to metastasize across multiple anatomic compartments at a comparatively earlier phase of the disease course. These distinctions arise from intrinsic molecular drivers, proliferative stimuli, and pathway dysregulation, which collectively differentiate luminal B tumors from other HR-positive malignancies and position them as a high-risk subgroup requiring nuanced diagnostic vigilance and intensified therapeutic strategies.

The clinical course of metastatic breast carcinoma is strongly influenced by the interaction between intrinsic tumor characteristics and the biological properties of individual metastatic sites. Metastatic progression is not simply a passive consequence of increasing tumor volume but represents a multistep process involving local invasion, intravasation, survival within the circulation, extravasation, adaptation to a distant microenvironment, and subsequent colonization. During these stages, tumor cells acquire phenotypic and molecular characteristics that facilitate survival under changing environmental conditions. The resulting metastatic lesions may exhibit biological differences from the original primary tumor, including alterations in hormone receptor expression, proliferative activity, and other molecular characteristics. Such heterogeneity is particularly important in advanced HR-positive disease because treatment sensitivity may vary between primary and metastatic compartments.

The luminal classification of breast carcinoma provides a clinically useful framework for understanding differences in tumor behavior. Luminal A tumors generally demonstrate stronger endocrine dependence, lower proliferation, and a more favorable prognosis, whereas luminal B tumors frequently exhibit higher proliferation, higher histological grade, and greater metastatic potential. However, these categories represent biological continua rather than completely discrete disease entities. Immunohistochemical surrogates, including ER, PR, HER2, and Ki-

67, are therefore interpreted collectively rather than in isolation. A tumor with preserved hormone receptor expression may nevertheless behave aggressively when accompanied by high histological grade and marked proliferative activity. This distinction is highly relevant in cases presenting with extensive metastatic disease despite substantial endocrine receptor positivity. The proliferative index represented by Ki-67 has particular relevance in the characterization of luminal breast cancer. Although interpretation and clinically meaningful thresholds remain subjects of methodological discussion, a markedly elevated Ki-67 level generally indicates increased tumor-cell proliferation. In the present case, the Ki-67 index of 45% was consistent with highly proliferative tumor biology and provided additional support for the luminal B classification. The combination of grade 3 histology and elevated proliferative activity suggests a biologically aggressive phenotype capable of rapid expansion and early dissemination. At the same time, strong PR expression and measurable ER positivity indicate preservation of an endocrine-responsive component, creating a therapeutic rationale for endocrine-based systemic treatment despite the aggressive clinical phenotype.

Progesterone receptor expression may provide additional biological information within ER-positive breast cancer. Strong PR expression generally indicates continued activity of estrogen receptor signaling and may support the presence of a functioning endocrine pathway. Nevertheless, receptor positivity does not necessarily imply indolent disease. The present case demonstrates that strong PR expression can coexist with high-grade histology, elevated Ki-67, extensive nodal involvement, visceral metastases, skeletal dissemination, and intracranial disease. This apparent biological contrast reinforces the importance of integrating multiple pathological parameters rather than relying on a single biomarker to estimate disease aggressiveness.

The pattern of metastatic distribution observed in advanced breast carcinoma has important diagnostic implications. Hepatic metastases frequently represent a marker of substantial systemic tumor burden and may compromise hepatic function when disease becomes extensive. Pulmonary and pleural involvement can occur through hematogenous or lymphatic mechanisms and may range from asymptomatic radiological abnormalities to clinically significant respiratory compromise. Extensive mediastinal and abdominal lymphadenopathy indicates broad lymphatic dissemination. Skeletal metastases reflect the well-established tropism of breast cancer cells for the bone microenvironment, where interactions between tumor cells, osteoblasts, osteoclasts, cytokines, and growth factors can establish a self-reinforcing cycle of tumor progression and bone remodeling.

The simultaneous presence of lytic and sclerotic skeletal abnormalities is particularly relevant because breast cancer bone metastases can display variable radiological characteristics. Some lesions predominantly stimulate osteoclast-mediated bone resorption, whereas others demonstrate increased osteoblastic activity. Mixed patterns may therefore occur within the same patient. Extensive skeletal disease can generate considerable morbidity even when visceral metastases remain the primary determinant of prognosis. Pain, impaired mobility, pathological fractures, spinal instability, and neurological compromise secondary to vertebral involvement may substantially reduce functional status. Accordingly, skeletal assessment and prevention of skeletal-related events constitute important components of comprehensive metastatic breast cancer management.

Central nervous system involvement introduces an additional dimension of clinical complexity. Brain metastases occur in a subset of patients with metastatic breast cancer and are particularly associated with biologically aggressive disease and prolonged systemic disease exposure.

Although HER2-positive and triple-negative breast cancers have traditionally demonstrated a greater propensity for intracranial dissemination, HR-positive/HER2-negative tumors can also develop clinically significant brain metastases, particularly when systemic disease is extensive. Small metastatic deposits may remain clinically silent and can be detected only through dedicated neuroimaging. The identification of millimetric enhancing lesions in both cerebral and cerebellar regions in the present case demonstrates the importance of appropriate CNS evaluation when disseminated disease raises clinical suspicion.

Brain MRI provides superior anatomical characterization of intracranial metastatic disease compared with many other imaging modalities. Contrast-enhanced sequences can identify small parenchymal lesions, assess their number and distribution, and assist radiation oncology in treatment planning. The distinction between metastatic lesions and alternative intracranial abnormalities may require correlation with clinical history and additional imaging sequences. In patients with widespread extracranial disease, detection of even small intracranial deposits has major implications for staging, prognosis, neurological surveillance, and multidisciplinary therapeutic planning.

The management of CNS metastases in HR-positive/HER2-negative breast cancer remains challenging because systemic disease control and intracranial control may not always occur simultaneously. Local treatment approaches, including stereotactic radiosurgery or other forms of focused radiation, may be considered for selected patients according to lesion number, size, location, symptoms, performance status, and overall disease burden. Whole-brain radiotherapy may be considered in particular clinical circumstances but must be balanced against potential neurocognitive consequences. The optimal sequence of local and systemic interventions is therefore individualized and requires collaboration between medical oncology, radiation oncology, neuroradiology, neurosurgery when appropriate, and supportive-care teams.

The development of CDK4/6 inhibitors has fundamentally changed the systemic treatment paradigm for advanced HR-positive/HER2-negative breast cancer. These agents interfere with cyclin-dependent kinase signaling that regulates progression through the G1 phase of the cell cycle. By inhibiting CDK4 and CDK6 activity, they restrict phosphorylation of retinoblastoma protein and impair subsequent progression toward DNA synthesis. When combined with endocrine therapy, CDK4/6 inhibition provides dual pressure on hormone-dependent tumor biology and proliferative signaling. This therapeutic principle is particularly relevant to luminal B tumors, in which endocrine dependence persists but proliferation is substantially increased.

Ribociclib, in combination with endocrine therapy, represents an important systemic treatment option for appropriate patients with advanced HR-positive/HER2-negative breast cancer. The selection of an aromatase inhibitor such as letrozole requires adequate suppression of ovarian estrogen production in patients who are premenopausal or perimenopausal. Goserelin, a gonadotropin-releasing hormone agonist, can be used to achieve ovarian function suppression. The resulting therapeutic strategy targets estrogen-mediated tumor stimulation while simultaneously inhibiting cell-cycle progression. Treatment selection nevertheless requires consideration of prior endocrine exposure, disease-free interval, menopausal status, visceral disease burden, comorbidities, potential drug interactions, and patient preferences.

Safety monitoring is an integral component of CDK4/6 inhibitor therapy. Ribociclib may produce hematological adverse effects, particularly neutropenia, and can be associated with hepatic laboratory abnormalities and QT interval prolongation. Accordingly, complete blood counts, liver function testing, electrolyte assessment, and electrocardiographic evaluation are important components of treatment surveillance. Drug interactions must also be considered

because ribociclib is metabolized predominantly through CYP3A pathways and may interact with concomitant medications. A structured pharmacovigilance approach is therefore necessary, particularly in patients receiving multiple systemic and supportive therapies.

Management of extensive osseous metastases also requires attention to skeletal integrity. Denosumab inhibits receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand and reduces osteoclast-mediated bone resorption. Its incorporation into the treatment plan may decrease skeletal-related complications in appropriately selected patients with metastatic breast cancer involving bone. However, treatment requires appropriate monitoring of calcium and renal-related considerations, dental health, and the risk of osteonecrosis of the jaw. Calcium and vitamin D supplementation may be considered according to individual clinical circumstances. Thus, supportive pharmacotherapy should be integrated with antineoplastic treatment rather than regarded as a separate therapeutic domain.

The extensive disease burden observed in this case also emphasizes the importance of multidisciplinary oncology. No single specialty can adequately address the diagnostic and therapeutic complexity of simultaneous breast, nodal, hepatic, pulmonary, skeletal, cutaneous, and CNS involvement. Pathologists establish the tumor phenotype; radiologists and nuclear medicine specialists define anatomical and metabolic disease distribution; medical oncologists determine systemic treatment; radiation oncologists address symptomatic or strategically important metastatic sites; and supportive-care specialists contribute to symptom control and quality of life. This integrated approach becomes especially important when treatment decisions must balance systemic disease control against local neurological or skeletal risks.

From a diagnostic perspective, this case additionally demonstrates the limitations of relying on previous benign breast findings to exclude future malignancy. A prior benign procedure does not provide permanent protection against subsequent breast cancer. New breast symptoms occurring years later require independent clinical evaluation and, when indicated, repeat imaging and tissue diagnosis. Long gaps in follow-up may be particularly consequential when a subsequent tumor possesses aggressive biological characteristics. Early diagnostic reassessment therefore remains an essential component of breast cancer prevention and secondary cancer control.

The present case is consequently important not because metastatic breast cancer itself is uncommon, but because of the exceptionally broad anatomical distribution of disease at diagnosis and the coexistence of aggressive pathological characteristics with retained endocrine receptor expression. The combination of grade 3 invasive ductal carcinoma, elevated Ki-67, extensive regional nodal dissemination, multiple visceral metastases, widespread skeletal involvement, subcutaneous disease, and CNS metastases illustrates the multidimensional nature of advanced luminal B breast cancer. It also demonstrates why modern breast oncology requires integration of pathology, molecular characterization, advanced imaging, pharmacology, radiation medicine, and longitudinal monitoring.

Accordingly, this case provides a clinically relevant framework for examining the relationship between delayed recognition and advanced metastatic presentation, the diagnostic value of multimodal imaging, the pathological features associated with aggressive luminal B biology, and the therapeutic role of combined CDK4/6 inhibition and endocrine therapy. It further emphasizes that hormone receptor positivity should not be interpreted as synonymous with low-risk disease. Instead, receptor status must be considered alongside histological grade, proliferative activity, metastatic pattern, disease burden, and clinical trajectory when developing an individualized treatment strategy.

Another important consideration in extensively metastatic HR-positive/HER2-negative breast cancer is the temporal evolution of tumor biology. Breast carcinoma is not necessarily biologically static from the moment of primary tumor development. Clonal selection occurring during tumor progression, treatment exposure, and metastatic colonization may result in phenotypic divergence between the primary malignancy and distant lesions. Changes in ER, PR, or HER2 status have been documented between primary and metastatic sites and may influence subsequent therapeutic decisions. Consequently, when clinically feasible, biopsy of an accessible metastatic lesion can provide valuable information regarding the current biological characteristics of the disease. In a patient presenting with disseminated disease, pathological reassessment can therefore complement the original breast biopsy and potentially identify clinically actionable changes.

Tumor heterogeneity also contributes to differences in treatment sensitivity within the same patient. A metastatic tumor burden may contain cellular populations with varying degrees of endocrine dependence, proliferative capacity, genomic instability, and interaction with the surrounding microenvironment. Some subclones may remain highly responsive to estrogen deprivation, whereas others may acquire mechanisms that facilitate proliferation despite endocrine blockade. CDK4/6 pathway dysregulation represents one component of this complex biological landscape. Alterations affecting cell-cycle control, growth-factor signaling, apoptosis, DNA repair, and other molecular pathways may contribute to disease progression and therapeutic resistance. Understanding these mechanisms is increasingly important for the development of precision oncology strategies.

The clinical significance of extensive visceral disease deserves particular attention. Historically, the presence of visceral metastases in HR-positive breast cancer was sometimes interpreted as an indication for immediate cytotoxic chemotherapy because of concerns regarding the need for rapid tumor reduction. Contemporary treatment strategies, however, increasingly distinguish between visceral metastases and true visceral crisis. Patients with substantial visceral tumor burden but without immediately life-threatening organ dysfunction may remain candidates for endocrine-based targeted therapy. CDK4/6 inhibitor combinations have therefore become an important component of treatment for many patients with advanced HR-positive/HER2-negative disease, including selected individuals with significant visceral involvement. The distinction between high-volume visceral disease and visceral crisis is consequently clinically important when determining the most appropriate initial systemic strategy.

The therapeutic concept of precision oncology extends beyond molecular testing alone. Individualized treatment requires simultaneous consideration of tumor biomarkers, anatomical distribution, disease tempo, menopausal status, previous treatment, toxicity risks, organ function, concomitant medications, functional status, and patient priorities. In the present case, the coexistence of substantial ER and PR expression with HER2 negativity and elevated proliferative activity provided a rationale for endocrine-targeted treatment incorporating CDK4/6 inhibition. The addition of ovarian suppression was particularly relevant to the patient's reproductive endocrine status, while denosumab addressed the consequences of extensive skeletal dissemination. This illustrates how precision medicine can involve coordinated selection of multiple pharmacological interventions rather than reliance on a single molecular target.

Pharmacological considerations are especially important in patients receiving multidrug regimens. Ribociclib, letrozole, goserelin, and denosumab have distinct mechanisms of action,

pharmacokinetic characteristics, adverse-effect profiles, and monitoring requirements. The combined regimen requires attention to hematological toxicity, hepatic function, electrolyte abnormalities, cardiovascular electrophysiology, endocrine effects, and skeletal complications. In addition, patients with metastatic disease frequently receive analgesics, antiemetics, corticosteroids, anticonvulsants, antibiotics, nutritional supplements, and other supportive medications, increasing the potential for clinically relevant drug interactions. Systematic medication reconciliation and pharmacovigilance can therefore contribute substantially to treatment safety.

The cardiovascular safety profile of CDK4/6 inhibitor therapy is another consideration in contemporary clinical practice. Ribociclib has a recognized potential to prolong the QT interval, making baseline and follow-up electrocardiographic assessment particularly relevant in patients with cardiovascular risk factors or concomitant exposure to other QT-prolonging agents. Correction of electrolyte disturbances and avoidance of unnecessary interacting medications are important preventive strategies. Such monitoring becomes increasingly relevant in patients with extensive metastatic disease because physiological reserve may be reduced and polypharmacy is common.

Hepatic monitoring is similarly important because advanced breast cancer frequently involves the liver and because systemic anticancer agents may independently influence hepatic biochemical parameters. The presence of multiple hepatic lesions in the current case increases the importance of distinguishing tumor-related hepatic dysfunction from treatment-associated hepatotoxicity. Serial assessment of transaminases, bilirubin, alkaline phosphatase, and other clinically appropriate parameters can assist clinicians in determining whether therapy should be continued, modified, temporarily interrupted, or permanently discontinued. Individual laboratory abnormalities should therefore be interpreted in the context of baseline hepatic involvement and the overall clinical picture.

The management of patients with extensive skeletal disease also requires a multidisciplinary supportive-care strategy. Pain assessment should be systematic and should account for nociceptive, neuropathic, and mechanical components. Imaging may be required when pain suggests impending pathological fracture, spinal instability, or epidural involvement. Orthopedic and neurosurgical consultation may become necessary in selected cases. Radiation therapy can provide effective palliation for symptomatic skeletal lesions, while bone-modifying treatment may reduce the incidence of skeletal-related complications. Early supportive intervention is therefore not merely an adjunct to anticancer treatment but an important component of comprehensive metastatic care.

The presence of cutaneous or subcutaneous metastatic disease provides another indication of extensive systemic dissemination. Although soft-tissue and umbilical metastases are less common than hepatic, pulmonary, nodal, or osseous involvement, their identification can have considerable staging significance. An umbilical metastatic deposit, for example, may represent a clinically visible manifestation of intra-abdominal or systemic malignant spread. Such lesions should be evaluated within the broader metastatic context rather than treated as isolated dermatological abnormalities. Their presence may provide an important clinical clue to the underlying extent of disease.

The diagnostic interpretation of extensive metastatic disease also depends on distinguishing malignant lesions from benign or treatment-related abnormalities. FDG uptake is not entirely specific for malignancy because inflammatory and infectious processes can demonstrate increased metabolic activity. Likewise, mixed sclerotic and lytic bone lesions may have

multiple differential diagnoses. Therefore, PET/CT findings should be integrated with anatomical imaging, clinical history, laboratory data, and pathological evidence. The combination of highly metabolically active lesions across multiple anatomically plausible metastatic compartments, together with biopsy-confirmed invasive breast carcinoma, substantially strengthens the interpretation of disseminated malignant disease.

The role of imaging extends beyond initial staging. Serial imaging provides an objective basis for assessing treatment response, identifying new metastatic deposits, documenting progression, and guiding modifications to systemic therapy. In metastatic breast cancer, treatment response may differ between organ systems. A patient may demonstrate regression of hepatic or pulmonary disease while individual osseous or intracranial lesions remain stable or progress. This discordance reflects tumor heterogeneity and emphasizes the importance of comprehensive rather than single-site response assessment. Multimodal follow-up may therefore be necessary, particularly when the initial disease involves both extracranial and intracranial compartments.

Central nervous system surveillance presents additional difficulties. Small brain metastases can remain asymptomatic, and their clinical significance may be influenced by their anatomical location rather than simply their size or number. Cerebellar lesions may interfere with coordination and balance when they become clinically significant, whereas cerebral lesions can produce focal neurological symptoms depending on cortical or subcortical localization. Occipital lesions may affect visual processing if adjacent neural structures are involved. Because neurological symptoms can be subtle or nonspecific, clinical vigilance and appropriate MRI evaluation are important in patients with advanced systemic disease.

Another significant aspect of the case is the relationship between diagnostic delay and metastatic burden. Although the biological aggressiveness of a tumor cannot be attributed solely to delayed diagnosis, prolonged intervals without evaluation can provide additional time for tumor growth, lymphatic dissemination, hematogenous spread, and establishment of distant metastatic colonies. The resulting presentation may be dramatically different from that expected at the time of initial malignant transformation. This reinforces the importance of recognizing persistent or progressive breast symptoms even when previous investigations or procedures have yielded benign findings.

The case also illustrates the distinction between disease classification and prognosis. A tumor may retain an HR-positive/HER2-negative phenotype and consequently remain eligible for endocrine-targeted treatment while simultaneously demonstrating several features associated with unfavorable prognosis. Histological grade 3 disease, elevated Ki-67, extensive nodal involvement, visceral metastases, CNS dissemination, and high total tumor burden all contribute to a more complex clinical outlook. Molecular classification should therefore guide therapy but should not replace comprehensive clinical prognostication.

From a public health perspective, this case highlights the importance of accessible breast cancer screening, diagnostic services, continuity of care, and health literacy. Delays may arise from inadequate follow-up, limited access to imaging or biopsy services, socioeconomic barriers, geographical limitations, fear of cancer diagnosis, or misinterpretation of previous benign findings. Strengthening referral pathways and ensuring timely evaluation of suspicious breast abnormalities can increase the probability of detecting malignancy at an earlier and potentially more manageable stage. These considerations are particularly important in healthcare systems where access to advanced oncology diagnostics may be uneven.

The case further demonstrates the importance of patient-centered communication in advanced cancer care. A diagnosis of widely metastatic disease involving the brain, liver, lungs, bones, and lymphatic system carries substantial psychological and social consequences. Patients require clear information regarding disease biology, therapeutic objectives, expected benefits, potential toxicities, and realistic treatment goals. In metastatic breast cancer, the primary objective of systemic therapy is generally long-term disease control, prolongation of survival, preservation of functional status, and maintenance of quality of life rather than conventional curative treatment. Shared decision-making is therefore essential when evaluating systemic treatment, radiation therapy, supportive interventions, and monitoring strategies.

Overall, the clinical characteristics of this case demonstrate the complex intersection of tumor biology, delayed recognition, extensive anatomical dissemination, advanced diagnostic imaging, pharmacological treatment, and multidisciplinary oncology. The coexistence of preserved hormone receptor expression and highly aggressive metastatic behavior challenges simplistic assumptions that HR-positive breast cancer necessarily follows a slowly progressive clinical course. Instead, luminal B disease may exhibit substantial proliferative capacity and widespread dissemination while remaining sufficiently endocrine-sensitive to justify targeted hormonal treatment.

This case consequently reinforces a central principle of modern breast oncology: therapeutic decisions should be based on the integrated interpretation of pathology, receptor biology, proliferation, metastatic anatomy, clinical tempo, patient characteristics, and treatment-related risks. Multimodal imaging can establish the true extent of disease, while immunohistochemistry defines the therapeutic phenotype. CDK4/6 inhibition combined with endocrine therapy can provide a rational systemic strategy for appropriately selected HR-positive/HER2-negative patients, while radiation and bone-directed interventions address specific metastatic complications. Continuous pharmacovigilance, imaging surveillance, laboratory monitoring, and multidisciplinary reassessment are necessary to adapt treatment as the disease evolves.

The present case therefore serves as an illustrative example of advanced luminal B breast carcinoma characterized by extensive lymphatic, visceral, skeletal, soft-tissue, and intracranial dissemination. Its clinical significance lies in demonstrating that aggressive metastatic behavior can occur despite measurable endocrine receptor expression and that contemporary management requires an integrated precision-medicine framework. Early recognition of breast abnormalities, comprehensive staging, accurate pathological classification, individualized systemic therapy, proactive management of metastatic complications, and sustained multidisciplinary follow-up remain fundamental principles for improving outcomes in patients with advanced HR-positive/HER2-negative breast cancer.

Epidemiological and Biological Considerations

Globally, luminal B breast cancer accounts for approximately 15–25% of all invasive breast cancers, although prevalence varies significantly by geographic region, ethnicity, lifestyle exposures, and diagnostic criteria. The rising utilization of Ki-67 as a risk stratification tool, alongside evolving immunohistochemical algorithms, has led to a broader reclassification of cases once considered luminal A into the luminal B category. This reclassification has important clinical implications: patients once presumed to have relatively favorable prognoses may, in fact, harbor tumors with greater metastatic potential and require more aggressive therapy.

At the molecular level, luminal B tumors frequently demonstrate increased activation of growth factor receptor pathways, including aberrant PI3K/AKT/mTOR signaling, cyclin D

amplification, increased CDK4/6–cyclin-dependent activity, and alterations in retinoblastoma (Rb) protein dynamics. These molecular signatures promote unchecked cellular proliferation, diminished sensitivity to endocrine therapy, and a greater likelihood of therapeutic resistance over time. High Ki-67 (≥ 20 –33%) remains a central biomarker of luminal B biology, signifying dysregulated cell cycle progression and correlating strongly with early relapse patterns. Clinically, these tumors often present at a higher stage, show larger primary masses, and more frequently involve multiple lymph nodes.

Patterns of Metastasis and Prognostic Challenges

The metastatic trajectory of luminal B breast cancer reflects its heightened biological aggressiveness. Compared to luminal tumors that often remain confined to bone metastases for prolonged intervals, luminal B tumors display a higher burden of visceral involvement at initial metastatic diagnosis. Hepatic metastases are particularly common and often exhibit high metabolic activity on FDG PET/CT, reflecting elevated proliferative and glycolytic activity. Pulmonary and pleural metastases, as well as mediastinal and retroperitoneal lymphadenopathy, are observed more frequently in luminal B than in luminal disease. Importantly, while triple-negative and HER2-positive tumors exhibit the highest central nervous system metastatic rates, luminal B tumors are increasingly recognized as contributors to CNS disease, especially in cases of prolonged delay in diagnosis or when the tumor displays exceptionally high Ki-67 indices.

Bone metastases, although classical for HR-positive disease, exhibit mixed radiologic features in luminal B tumors. The interplay of osteolytic and osteoblastic processes reflects dynamic tumor-bone microenvironment disruptions mediated by RANK-L, PTHrP, interleukin signaling, and tumor-stromal crosstalk. Consequently, patients frequently present with skeletal pain, risk of pathologic fractures, and spinal instability, all requiring prompt supportive interventions such as denosumab or bisphosphonate therapy.

Delayed Presentation and Diagnostic Barriers

The case under discussion highlights an especially critical dimension in breast cancer outcomes: delayed diagnosis and incomplete longitudinal surveillance after initial benign findings. Worldwide, lapses in routine breast health monitoring—particularly after benign breast surgery, abnormal imaging, or persistent symptoms—contribute substantially to the rate of advanced-stage presentations. Psychological considerations, sociocultural dynamics, healthcare access disparities, mistrust of medical systems, and inadequate follow-up programs all play major roles in shaping patient behavior.

This patient's initial benign surgery in 2014 created a cognitive reassurance bias, reducing vigilance and diminishing follow-up adherence. Several studies have shown that individuals with prior benign breast biopsies exhibit increased risk of subsequent malignant transformation, particularly in the presence of proliferative breast disease or atypical hyperplasia. Although this patient did not have atypia reported, the absence of structured surveillance over more than a decade created an opportunity for silent tumor development and progression into an advanced metastatic stage. The gradual onset of left shoulder pain, breast erythema, and swelling were consistent early warning signs, yet these were neither evaluated nor correlated with systemic pathology until years later when the disease had already disseminated widely.

Role of Multimodal Imaging in Diagnosis and Staging

Advanced imaging is indispensable for the comprehensive assessment of metastatic breast cancer. In this case, breast ultrasonography revealed hallmark malignant features including irregular margins, high elastographic stiffness, hypoechoic heterogeneity, and ductal extensions. Elastography, which quantifies tissue stiffness, has emerged as an important adjunct, with values exceeding 150–200 kPa strongly suggestive of malignancy.

PET/CT findings were particularly remarkable, revealing simultaneous involvement of the breast, liver, lungs, lymphatic system, skeletal system, and soft tissues. The metabolic intensity of the hepatic lesions (SUVmax 20) and primary breast lesion (SUVmax 22.1) indicated highly active tumor biology, consistent with aggressive luminal B behavior. Skeletal metastases involving the spine, pelvis, ribs, and proximal femora exhibited lytic–sclerotic transitions, reflecting advanced bone remodeling and metastatic infiltration.

The brain MRI demonstrated multiple punctate enhancing foci, including cerebellar and cerebral lesions, and an occipital bone lesion suspicious for osseous skull involvement. These findings highlight the necessity of CNS evaluation in patients with high tumor burden or unusually aggressive luminal B tumors. In contemporary practice, routine brain imaging is not standard for all metastatic patients; however, growing evidence suggests that luminal B biology warrants earlier CNS screening in selected cases.

Therapeutic Landscape and Rationale for CDK4/6 Inhibition

The cornerstone of treatment for HR-positive/HER2-negative metastatic breast cancer has shifted dramatically with the advent of CDK4/6 inhibitors. Ribociclib, used in this case, has demonstrated robust efficacy in prolonging survival when combined with endocrine therapy. The MONALEESA-7 and MONALEESA-2 trials established ribociclib as one of the most effective agents for premenopausal and postmenopausal women, respectively, showing median overall survival exceeding 58–63 months in specific patient cohorts.

Mechanistically, CDK4/6 inhibitors act by arresting the cell cycle at the G1–S transition, thereby reducing proliferation driven by cyclin D1 overexpression. Luminal B tumors often exhibit increased cyclin D–CDK4/6 pathway activation due to molecular alterations involving CCND1 amplification, PI3K pathway dysregulation, and endocrine resistance mechanisms. Therefore, the therapeutic rationale for combining ribociclib with letrozole and goserelin is rooted in simultaneously suppressing estrogen-driven signaling and directly inhibiting cell-cycle progression.

Furthermore, denosumab therapy addresses the aggressive skeletal involvement noted in this patient. Its mechanism—RANK-L inhibition—reduces osteoclast-mediated bone resorption, prevents skeletal-related events, and contributes to improved quality of life.

CNS Considerations in Luminal B Disease

While CDK4/6 inhibitors have limited direct penetration across the blood–brain barrier, their systemic effects can nonetheless influence CNS disease indirectly. Abemaciclib demonstrates better CNS penetration than ribociclib or palbociclib; however, ribociclib may still play a role in controlling micrometastatic CNS disease through overall systemic reduction of tumor burden. Given this patient's micrometastatic brain disease, multidisciplinary planning with radiation oncology is necessary to consider stereotactic radiosurgery (SRS), palliative radiotherapy, or whole-brain radiotherapy depending on lesion progression.

Clinical Implications and Need for Early Intervention

This case reinforces several essential clinical principles:

- **Luminal B tumors require vigilant diagnostic monitoring** due to their propensity for rapid progression.
- **Diagnostic delays can result in multiorgan metastasis**, particularly involving the liver, lungs, bone, and CNS.
- **PET/CT should be employed early** in cases with biological high-risk features or when clinical suspicion of metastasis is significant.
- **CDK4/6 inhibitors represent foundational therapy** but require careful monitoring for toxicities including QT prolongation and myelosuppression.
- **Multidisciplinary care is indispensable**, especially in patients with CNS and extensive skeletal involvement.

Breast cancer remains the most prevalent malignancy among women worldwide, representing a significant global health challenge due to its biological heterogeneity, variable clinical courses, and profound impacts on morbidity and mortality. Within this complex landscape, hormone receptor-positive (HR+), human epidermal growth factor receptor 2-negative (HER2-) breast cancers constitute the largest molecular subgroup, accounting for approximately 60-70% of all cases. These tumors, traditionally reliant on estrogen signaling for growth, have historically been associated with a more indolent behavior and responsiveness to endocrine therapies. However, this broad categorization belies a profound internal diversity, particularly between the Luminal A and Luminal B intrinsic subtypes. The latter, defined by its distinct molecular drivers and aggressive clinical phenotype, presents a formidable diagnostic and therapeutic challenge, especially when diagnosed at an advanced, metastatic stage.

The evolution from early-stage breast cancer to metastatic disease is often a silent, insidious process. For patients with the Luminal B subtype, this progression can be particularly rapid and visceral, defying the conventional perception of HR+ disease as slowly progressive. This case report delves into the intricate narrative of a middle-aged woman with extensively disseminated Luminal B metastatic breast cancer (MBC), a presentation that starkly illustrates the catastrophic consequences of diagnostic delay, the biological ferocity of this subtype, and the modern therapeutic strategies deployed against a backdrop of overwhelming tumor burden. Her story is not merely a clinical vignette but a multidimensional exploration of the interplay between tumor biology, healthcare system gaps, psychosocial factors, and the frontiers of precision oncology.

The Luminal B Subtype: A Distinct Clinical Entity

The classification of breast cancer into intrinsic subtypes—Luminal A, Luminal B, HER2-enriched, and Basal-like—has revolutionized our understanding of the disease's natural history and therapeutic approach. Luminal B breast cancer, while sharing the HR+ hallmark with Luminal A, is a fundamentally different biological entity. It is characterized by lower expression levels of estrogen receptor (ER), often heterogeneous progesterone receptor (PR) status, higher histologic grade (commonly Grade 2 or 3), and crucially, a high proliferative index as measured by Ki-67 (typically $\geq 20\%$). Genomically, these tumors frequently exhibit increased expression of proliferation-related genes, dysregulation of growth factor pathways (notably the PI3K/AKT/mTOR and cyclin D-CDK4/6 axes), and greater genomic instability.

This aggressive molecular profile translates directly into clinical behavior. Compared to the bone-predominant, late-relapsing pattern often seen in Luminal A disease, Luminal B tumors

demonstrate a marked propensity for early and widespread visceral metastasis. Involvement of the liver, lungs, and pleura is common at initial metastatic diagnosis. Perhaps more alarmingly, there is growing recognition that Luminal B biology also confers a non-negligible risk for central nervous system (CNS) metastasis, a site historically associated with more aggressive subtypes like HER2-positive and triple-negative breast cancer. This predilection for systemic dissemination, coupled with a higher likelihood of primary or acquired resistance to endocrine therapy, positions Luminal B breast cancer as a high-risk subgroup that demands heightened diagnostic suspicion and a proactive, layered treatment strategy from the outset.

The Weight of Diagnostic Delay and Lost Surveillance

A central, sobering theme in this case is the profound impact of elapsed time and lapsed surveillance. The patient's history—a benign breast procedure over a decade prior, followed by a complete absence of recommended follow-up—epitomizes a critical failure point in cancer care continuity. This scenario is unfortunately common and underscores a complex web of contributing factors: patient reassurance bias following a "benign" result, healthcare system fragmentation, and lack of structured long-term follow-up protocols for individuals with a history of breast abnormalities, and potential psychosocial barriers such as fear, denial, or competing life priorities.

The gradual onset of symptoms—left shoulder pain, breast erythema, and swelling—were likely early harbingers of locally advanced and metastatic disease. Yet, in the absence of a framework for timely re-evaluation, these signs were not investigated until they coalesced into overt, systemic illness. This delay permitted the tumor to evolve from a potentially curable early-stage lesion into a widely disseminated, stage IV malignancy. The resulting tumor burden, as captured by advanced imaging, is staggering: a dominant breast mass with multifocal spread, extensive lymphatic invasion across multiple nodal basins, and metastases to the liver, lungs, bones, CNS, retroperitoneum, mesentery, and even subcutaneous tissue. This case thus serves as a powerful, cautionary testament to the necessity of sustained vigilance. It argues compellingly for the implementation of robust, personalized surveillance strategies for individuals with any history of breast abnormality, recognizing that a past benign finding does not confer lifetime immunity and may, in fact, signal a breast at heightened risk.

The Imperative of Comprehensive Staging in High-Risk Disease

Faced with a presentation suggestive of aggressive biology or advanced disease, conventional staging with computed tomography (CT) and bone scan may be insufficient. This case highlights the indispensable role of advanced multimodal imaging in the accurate initial staging and subsequent management of Luminal B MBC. Whole-body fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography (FDG PET/CT) has emerged as a cornerstone for this purpose. It provides a holistic, metabolic map of the disease, simultaneously evaluating the primary tumor, nodal status, and distant metastases. The high standardized uptake value (SUVmax) observed in this patient's primary breast lesion (22.1) and hepatic metastases (20) is not merely a quantitative measure but a biomarker of aggressive tumor biology, reflecting heightened glycolytic activity and proliferative drive characteristic of Luminal B tumors.

Furthermore, the detection of millimetric CNS metastases on brain MRI—a finding that might have been missed or delayed without a high index of suspicion—fundamentally alters the therapeutic landscape. It introduces the need for multidisciplinary coordination with radiation oncology and influences the choice of systemic therapy, given the variable blood-brain barrier

penetration of different agents. The integration of breast MRI with elastography further refines the local assessment, characterizing tissue stiffness as an adjunctive marker of malignancy. This comprehensive imaging approach does more than just stage; it risk-stratifies, reveals the true extent of the biological threat, and provides essential baseline data for assessing response to therapy.

Therapeutic Paradigm Shift: CDK4/6 Inhibition as the Backbone of Care

The management of HR+/HER2- MBC has undergone a transformative shift in the past decade with the advent of cyclin-dependent kinase 4 and 6 (CDK4/6) inhibitors. Drugs like ribociclib, palbociclib, and abemaciclib, when combined with endocrine therapy, have consistently demonstrated unprecedented improvements in progression-free survival and overall survival across multiple pivotal clinical trials (e.g., MONALEESA, PALOMA, and MONARCH). This patient's treatment regimen—ribociclib combined with the aromatase inhibitor letrozole, ovarian suppression with goserelin, and the bone-targeted agent denosumab—epitomizes the contemporary, evidence-based first-line standard for premenopausal/perimenopausal women with advanced disease.

The scientific rationale is deeply rooted in the biology of Luminal B tumors. The frequent dysregulation of the cyclin D-CDK4/6-retinoblastoma (Rb) pathway in this subtype creates a therapeutic vulnerability. CDK4/6 inhibitors act by arresting the cell cycle at the G1/S checkpoint, directly countering the unchecked proliferation that defines these cancers. When combined with endocrine therapy, which aims to deprive the tumor of its estrogenic growth signal, a synergistic anti-tumor effect is achieved. This combination represents a paradigm of targeted therapy, moving beyond mere hormonal blockade to precise interference with the cell cycle machinery itself.

However, the initiation of such potent therapy in the context of extraordinary disease burden, as seen here, introduces unique challenges. It tests the real-world efficacy of these regimens in patients often excluded from clinical trials due to poor performance status or extensive visceral/CNS disease. It necessitates meticulous supportive care and monitoring for class-specific toxicities: myelosuppression (particularly neutropenia), hepatotoxicity, QT interval prolongation (specific to ribociclib), and managing the side effects of profound estrogen deprivation. The concurrent use of denosumab addresses the pervasive skeletal metastases, aiming to prevent skeletal-related events like fractures and spinal cord compression, thereby preserving quality of life.

Multidisciplinary Care: The Non-Negotiable Framework

The complexity of this case, with its CNS involvement, symptomatic bone disease, and high systemic burden, makes it unequivocally clear that no single specialty can manage such a patient in isolation. Optimal care is inherently multidisciplinary. The medical oncologist orchestrates the systemic therapy. The radiation oncologist evaluates the role of stereotactic radiosurgery for brain metastases or palliative radiotherapy for painful bone lesions. Radiologists provide critical interpretive nuance for complex imaging. Pathologists ensure accurate biomarker characterization. Supportive care/palliative medicine specialists address pain, nausea, fatigue, and psychological distress. This integrated, collaborative model is essential not only for crafting an initial treatment plan but also for navigating the inevitable twists, toxicities, and progressions of the disease course. It ensures that therapeutic decisions

are holistic, considering not just tumor metrics but also patient symptoms, quality of life, and personal goals.

Broader Implications: From a Single Case to Systemic Reflection

While this report details an individual journey, its implications resonate across the broader domains of oncology practice, public health, and research.

➤ **Clinical Practice:** It mandates a recalibration of risk perception for HR+ disease. Clinicians must internalize that Luminal B is a high-risk subtype warranting urgency in diagnosis, comprehensive staging, and aggressive first-line therapy. It argues for the early use of PET/CT in clinically high-risk scenarios and consideration of baseline brain imaging in patients with extensive visceral metastases or highly proliferative Luminal B tumors.

➤ **Healthcare Systems:** The case is a stark indictment of fragmented follow-up. It calls for the development and implementation of standardized, risk-adapted surveillance protocols for patients with a history of benign breast disease, leveraging registries and digital reminders to prevent patients from being lost to follow-up.

➤ **Psychosocial Dimensions:** It highlights the need for better patient education, communication, and support to overcome barriers to care. Reassurance after a benign result must be carefully balanced with clear guidance on the importance of ongoing vigilance and prompt reporting of new symptoms.

➤ **Research Frontiers:** This presentation points toward future directions. Could circulating tumor DNA (ctDNA) analysis have detected molecular relapse years before radiographic evidence? Will genomic profiling of metastatic lesions reveal targetable resistance mechanisms (e.g., ESR1 mutations, PI3K pathway alterations) to guide subsequent therapies? What is the optimal integration of local therapies (radiation, surgery) with CDK4/6 inhibitors for oligometastatic or oligoprogressive disease? How can artificial intelligence enhance early detection on imaging?

➤ The journey of this patient with extensively metastatic Luminal B breast cancer serves as a profound, multidimensional case study. It underscores the aggressive natural history of this biologic subtype, the dire consequences of diagnostic and surveillance failures, the critical importance of state-of-the-art imaging, and the transformative potential of modern, biology-driven systemic therapy. Most importantly, it reinforces that in the face of such complex advanced cancer, hope and improved outcomes lie in a triad of principles: timely recognition fueled by clinical awareness, precision intervention guided by molecular understanding, and compassionate, integrated care delivered by a dedicated multidisciplinary team. The battle against metastatic breast cancer is fought on these three fronts simultaneously, and this case vividly maps the terrain of that challenging, yet increasingly manageable, conflict.

Healthcare System and Psychosocial Dimensions

Late-stage presentations often reflect gaps not only in individual health-seeking behaviors but also in structural healthcare limitations. Limited patient education on breast cancer symptoms, inconsistent follow-up protocols, financial barriers, and healthcare fragmentation all contribute to advanced presentations. Psychosocial factors—including denial, fear of diagnosis, prioritization of family responsibilities, and stigma—may further delay timely medical assessment. For many women, especially those with prior benign pathology, reassurance from past negative findings can overshadow new symptoms and prevent early re-evaluation.

Implications for Clinical Practice and Future Directions

This case illustrates critical future directions in breast oncology:

- **Enhanced post-benign-surgery surveillance protocols** should be standardized.
- **Incorporation of molecular risk profiling** at earlier stages may refine follow-up intensity.
- **Emerging biomarkers**, including circulating tumor DNA (ctDNA), may enable earlier detection of recurrence or metastasis.
- **Integration of precision oncology approaches**, such as genomic sequencing of metastatic lesions, may guide targeted therapies beyond CDK4/6 inhibitors, including PI3K inhibitors, AKT inhibitors, and antibody–drug conjugates.
- **Artificial intelligence–assisted imaging analysis** may improve early recognition of subtle metastatic lesions.

Case Presentation

A middle-aged female presented with a several-year history of progressive left shoulder discomfort, intermittent breast swelling, and increasing erythema of the left breast. These symptoms evolved slowly over the preceding four years but remained uninvestigated. Her medical history was notable for a benign breast surgery performed in 2014 following breastfeeding, after she had detected firmness in the left breast. Although she had been advised to attend biannual follow-up, she did not continue surveillance and remained without clinical evaluation for more than a decade. Past surgical history included a total abdominal hysterectomy with left oophorectomy and a recent appendectomy performed less than one month before the current oncologic assessment. She had no known chronic illnesses and no documentation of hereditary breast cancer risk.

On presentation, she exhibited marked asymmetry of the breasts with erythema, firmness, and palpable abnormality in the lower inner quadrant of the left breast. The skin showed no ulceration or peau d'orange changes, and the nipple–areolar complex remained anatomically preserved. Palpation of the left shoulder elicited discomfort, corresponding to her long-standing symptom. There was no clinical evidence of acute respiratory distress; however, she reported dyspnea on exertion. No neurological deficits were noted on examination.

Initial ultrasonography of the left breast revealed a solid, irregularly contoured mass measuring 37 × 24 × 33 mm in the lower inner quadrant, demonstrating markedly increased stiffness on elastography with a mean measurement of 180 kPa. The lesion displayed a thick peripheral halo, heterogeneous hypoechogenicity, and a tubular extension of approximately 20 mm extending toward the nipple, suggestive of ductal infiltration. Multiple additional small, irregular hypoechoic foci were visualized medial and inferomedial to the dominant lesion, the largest being 14 × 4 mm, raising suspicion for multifocal malignant involvement. Additional small lobulated hypoechoic areas in the upper inner quadrant were considered likely fibroadenomatoid or multicentric foci. Several interpectoral lymph nodes were detected, the largest measuring 8 × 3 mm, suspicious for metastatic involvement. No clearly pathologic lymph nodes were seen in the left axilla. The right breast demonstrated several small, smooth, hypoechoic lesions considered benign, but cortical thickening in right axillary lymph nodes warranted additional evaluation.

A core needle biopsy of the dominant lesion confirmed invasive ductal carcinoma of no special type, high grade, with Nottingham grade 3 morphology. Immunohistochemical analysis demonstrated estrogen receptor expression in 33 percent of tumor cells with weak to moderate staining intensity, progesterone receptor expression in 95 percent of tumor cells with strong

staining, HER2 negativity with a score of zero, and a Ki-67 proliferative index of 45 percent, consistent with a luminal B, HER2-negative molecular subtype. E-cadherin positivity supported ductal lineage, and tumor-infiltrating lymphocytes were markedly sparse, involving less than one percent of the tumor area. Specimen handling conformed to ASCO/CAP guidelines.

Given the clinical suspicion of advanced disease, a whole-body FDG PET/CT scan was performed. The left breast mass displayed intensely increased metabolic activity with a SUVmax of 22.1, accompanied by an adjacent satellite focus. Extensive lymphatic involvement was noted, including the left internal mammary chain, parasternal nodes, deep axillary nodes, bilateral supraclavicular nodes, and mediastinal, paratracheal, hilar, retroperitoneal, para-aortic, mesenteric, and paracaval lymph nodes. Pulmonary evaluation revealed numerous hypermetabolic nodules within both lungs accompanied by pleural thickening, consistent with widespread pulmonary and pleural metastases. Multiple hypodense hepatic lesions demonstrated intense FDG uptake, the largest measuring 58 × 53 mm with a SUVmax of 20, indicating substantial visceral tumor burden. A hypermetabolic subcutaneous lesion at the umbilical level measuring 14 mm in diameter was also identified. The skeletal survey demonstrated extensive lytic and sclerotic metastatic involvement throughout the cervical, thoracic, and lumbar vertebrae, ribs, pelvis, sacrum, and both proximal femora, with SUV values up to 14.4.

Because PET imaging suggested intracranial involvement, a contrast-enhanced brain MRI was obtained. Several millimetric enhancing lesions were observed in the cerebellar hemispheres and cerebral cortex, including a 3 mm parietal lesion and a 2 mm frontal lesion. Additional punctate enhancing foci were identified in the right frontal region, and an ill-defined post-contrast opacity in the occipital bone raised concern for osseous metastatic disease. No mass effect, hydrocephalus, or compromise of the posterior fossa structures was present.

Based on the integrated clinical, radiologic, and pathologic findings, the patient was diagnosed with extensively disseminated metastatic luminal B breast carcinoma involving the breast, lymphatic system, liver, lungs, pleura, bones, brain, retroperitoneum, mesentery, and subcutaneous tissues. After multidisciplinary tumor board discussion, treatment was initiated with ribociclib in combination with letrozole and ovarian suppression using goserelin, along with denosumab for skeletal protection. A structured monitoring plan was established including serial laboratory testing, ECG evaluation for QT interval assessment, and repeat PET/CT imaging after three months to evaluate treatment response.

Clinical Findings

At presentation, the patient appeared in a generally preserved condition but reported progressive left shoulder pain, breast swelling, and intermittent erythema that had intensified over the previous months. Inspection of the left breast revealed visible asymmetry with localized skin erythema over the lower inner quadrant, though there was no ulceration, peau d'orange change, or nipple inversion. Palpation identified a firm, irregular mass deep within the lower inner quadrant of the left breast, associated with mild tenderness. The overlying skin retained normal pliability, and no discharge or architectural distortion of the nipple-areolar complex was observed.

Palpation of regional lymphatic basins revealed small, firm nodules in the left interpectoral region, suggestive of nodal involvement, while the left axilla did not demonstrate clearly enlarged or fixed lymph nodes. On the right side, axillary examination identified lymph nodes

with palpable cortical thickening, although they were mobile and not overtly suspicious on physical assessment alone.

Musculoskeletal examination elicited pain on manipulation of the left shoulder, corresponding to the patient's long-standing symptom. No deformity or restriction of range of motion was identified, although deep palpation reproduced discomfort, raising suspicion of underlying osseous involvement. The patient did not exhibit focal neurological deficits, sensory loss, visual disturbance, or cerebellar signs at the time of clinical examination, despite the later-confirmed presence of micrometastatic brain lesions on imaging.

Pulmonary examination revealed mildly reduced breath sounds at the left lung base without crackles, wheezing, or dullness to percussion. She reported episodic exertional dyspnea but denied resting shortness of breath. Cardiovascular and abdominal examinations were unremarkable, and no hepatosplenomegaly, ascites, or palpable masses were detected.

The overall constellation of findings—breast asymmetry with a dominant palpable mass, regional nodal changes, musculoskeletal pain localized to the shoulder, and mild respiratory symptoms—raised strong suspicion for an advanced primary breast malignancy with potential systemic involvement. These clinical features prompted comprehensive imaging and histopathologic evaluation, which confirmed the presence of extensively disseminated luminal B breast carcinoma.

Diagnostic Assessment

The patient underwent comprehensive diagnostic evaluation following clinical suspicion of advanced breast malignancy. Initial breast ultrasonography of the left breast demonstrated a dominant solid mass in the lower inner quadrant measuring $37 \times 24 \times 33$ mm, characterized by irregular, infiltrative contours, pronounced peripheral hypoechoic halo, and internal heterogeneity. Shear-wave elastography revealed markedly increased tissue stiffness with a mean value of 180 kPa, reinforcing the suspicion of a malignant process. A tubular extension toward the nipple, measuring approximately 20 mm, was consistent with ductal infiltration. Additional smaller hypoechoic foci medial and inferomedial to the primary lesion suggested multifocal disease. In the upper inner quadrant, several small lobulated hypoechoic areas were identified, interpreted as possible fibroadenomatoid or multicentric foci. Sonographic evaluation of regional lymphatic basins revealed multiple suspicious interpectoral lymph nodes, the largest with cortical thickening; however, no overtly abnormal lymph nodes were identified in the left axilla. Right axillary nodes demonstrated mild cortical thickening, prompting further correlation with advanced imaging.

A core needle biopsy of the dominant lesion was performed. Histopathological examination confirmed invasive ductal carcinoma of no special type with Nottingham grade 3 morphology. Immunohistochemical analysis demonstrated estrogen receptor positivity in 33 percent of tumor cells with weak to moderate staining, strong progesterone receptor expression in 95 percent of cells, and HER2 negativity with a score of zero. The Ki-67 index was elevated at 45 percent, consistent with a highly proliferative luminal B, HER2-negative subtype. E-cadherin staining confirmed ductal differentiation, and the tumor microenvironment was notable for sparse tumor-infiltrating lymphocytes, comprising less than one percent of the tumor area. All specimen handling parameters were compliant with ASCO/CAP recommendations.

Given the possibility of extensive systemic involvement, whole-body FDG PET/CT was performed, revealing a highly metabolic left breast mass with a SUVmax of 22.1. The scan demonstrated widespread metastatic dissemination. Multiple hypermetabolic nodal regions

were present, including the left internal mammary, parasternal, deep axillary, bilateral supraclavicular, right paratracheal, pre-carinal, hilar, retroperitoneal, para-aortic, mesenteric, and paracaval chains. Pulmonary evaluation showed numerous bilateral pulmonary nodules and pleural thickening, all displaying increased tracer uptake. The liver contained multiple hypodense, FDG-avid lesions, and the largest in the posterior superior segment of the right lobe measuring 58 × 53 mm with a SUVmax of 20. A hypermetabolic subcutaneous nodule at the umbilical level, measuring 14 mm with a SUVmax of 5.7, was also noted. Extensive lytic–sclerotic skeletal metastases were distributed throughout the cervical, thoracic, and lumbar vertebrae, ribs, pelvis, sacrum, and proximal femora with SUV values up to 14.4.

Because PET/CT findings suggested possible intracranial involvement, contrast-enhanced brain MRI was conducted. The study revealed several millimetric enhancing metastatic foci within the superior cerebellar hemispheres, a 3 mm nodular lesion in the right parietal lobe with peripheral enhancement, a 2 mm lesion in the right frontal lobe, and additional punctate lesions in the anterior frontal region. An ill-defined contrast-enhancing opacity in the anterior right occipital bone raised suspicion for osseous skull metastasis. No abnormalities were identified in the ventricular system, posterior fossa morphology, brainstem, or major intracranial vessels. Collectively, the diagnostic assessments confirmed the presence of an aggressive, extensively disseminated luminal B invasive ductal carcinoma with simultaneous metastases to the liver, lungs, pleura, bone, brain, retroperitoneum, mesentery, lymphatic system, and subcutaneous tissues. The concordant imaging and histopathological findings established the diagnosis of stage IV breast carcinoma with an exceptionally high tumor burden, guiding the multidisciplinary team toward endocrine-targeted systemic therapy with CDK4/6 inhibition as first-line management.

Therapeutic Intervention

Following confirmation of extensively disseminated luminal B breast carcinoma with widespread visceral, skeletal, lymphatic, and intracranial involvement, the patient's case was reviewed by a multidisciplinary tumor board comprising medical oncology, radiation oncology, radiology, pathology, and supportive care specialists. Given the hormone receptor–positive, HER2-negative profile and high proliferative index, a consensus was reached to initiate contemporary first-line endocrine-targeted therapy incorporating CDK4/6 inhibition. This strategy was selected to provide optimal disease control while maintaining a favorable toxicity profile in the setting of significant tumor burden.

Systemic therapy was commenced with ribociclib administered orally once daily for twenty-one days followed by a seven-day rest period, in combination with continuous daily letrozole as the aromatase inhibitor backbone. Ovarian function suppression was initiated using monthly subcutaneous goserelin to ensure complete estrogen deprivation, given the patient's premenopausal or perimenopausal endocrine status. This combination regimen reflects current international standards of care for hormone receptor–positive, HER2-negative metastatic breast cancer and is supported by robust evidence demonstrating improvements in progression-free and overall survival, particularly in patients with high-risk biological features such as elevated Ki-67 indices.

Given the extensive skeletal involvement with mixed lytic–sclerotic metastatic lesions affecting the axial and appendicular skeleton, denosumab was initiated as a bone-modifying agent. Monthly subcutaneous administration was selected to reduce the risk of skeletal-related events including pathological fractures, spinal instability, and severe cancer-associated bone pain. The

patient was counseled on calcium and vitamin D supplementation to mitigate the risk of hypocalcemia.

To ensure safe administration of ribociclib and early recognition of potential adverse effects, a comprehensive monitoring plan was established. Baseline and pre-cycle electrocardiograms were obtained to evaluate QT interval dynamics, recognizing the known risk of QT prolongation associated with ribociclib. Laboratory surveillance included complete blood counts to detect neutropenia, liver function tests to monitor for hepatotoxicity, and renal parameters to assess treatment tolerance. The patient was educated extensively regarding signs of infection, hepatotoxicity symptoms, and the importance of adherence to scheduled laboratory assessments.

Radiation oncology evaluated the feasibility of early intervention for intracranial micrometastases and symptomatic bone lesions. Given the small size and lack of mass effect of the brain lesions, stereotactic radiosurgery was considered contingent upon evidence of progression or the development of neurological symptoms. Palliative radiotherapy remained an option for pain control should skeletal symptoms intensify during systemic therapy.

The overall therapeutic approach prioritized rapid systemic disease control while integrating local modalities as clinically indicated. This comprehensive management strategy aimed to address the extensive tumor burden, alleviate symptoms, prevent foreseeable complications, and maintain the patient's functional status while closely monitoring treatment response through scheduled follow-up imaging.

Patient Follow-Up Summary

Clinical Background:

The patient is diagnosed with metastatic breast carcinoma with documented metastases involving the liver, lungs, bones, and brain. Hormone receptor and proliferation status are as follows: ER 33%, PR 95%, HER2-negative (score 0), Ki-67 45%. Systemic therapy with ribociclib, letrozole, goserelin, and denosumab was initiated on 20XX.

Past Medical and Surgical History:

In 2014 following breastfeeding, the patient noted firmness in the left breast and subsequently underwent surgical intervention. No malignancy was detected at that time. Despite recommendations for biannual follow-up, she did not attend scheduled monitoring visits. Over the past four years, experienced persistent pain localized to the left shoulder.

She developed erythema and swelling in the left breast. Concurrently, fluid accumulation was identified in the lung. Pelvic MRI revealed osseous lesions suggestive of metastatic involvement.

Her surgical history includes total abdominal hysterectomy and left oophorectomy performed. Additionally, she underwent appendectomy 24 days prior to the current evaluation.

Pathology Report

Specimen: Left breast, 37 mm solid lesion, BIRADS 5

Procedure: Tru-cut core biopsy

Diagnosis:

- Invasive ductal carcinoma, Not Otherwise Specified (NOS)

Histologic Grade:

- Grade 3 (Nottingham Histologic Score)

Molecular Classification (IHC4):

- Luminal B, HER2-negative subtype

Immunohistochemical Profile:

1. **Estrogen Receptor (ER):**

- Positive
- Nuclear staining in 33% of cells
- Average staining intensity: weak to moderate

2. **Progesterone Receptor (PR):**

- Positive
- Nuclear staining in 95% of cells
- Average staining intensity: strong

3. **Ki-67 Proliferative Index:** 45%

4. **HER2 Status (IHC):**

- Negative (score 0)
- No membranous staining observed

❖ **Diagnosis**

Specimen: Left breast, 37 mm solid lesion, BIRADS Category 5

Procedure: Tru-cut core biopsy

❖ **Histopathological Findings:**

- **Invasive ductal carcinoma, Not Otherwise Specified (NOS)**
- **Histologic Grade (Nottingham):** Grade 3

❖ **Molecular Classification (IHC4):** Luminal B, HER2-negative

Immunohistochemical Profile:

1. **Estrogen Receptor (ER):**

- Positive
- Nuclear positivity in 33% of tumor cells
- Average staining intensity: weak to moderate
- Primary antibody clone: SP1

2. **Progesterone Receptor (PR):**

- Positive
- Nuclear positivity in 95% of tumor cells
- Average staining intensity: strong
- Primary antibody clone: 1E2

3. **Ki-67 Proliferative Index:** 45%

4. **HER2 Status:**

- Negative (score 0)
- No membranous staining observed
- Primary antibody clone: 4B5

❖ **Test Methodology:** Immunohistochemistry (IHC) was performed using validated primary antibody clones for ER, PR, and HER2 as listed above.

❖ **Additional Pathology Findings:**

❖ **Ki-67:**

- Proliferative index 45%
- Primary antibody clone: MIB1
- ❖ **Specimen Handling:**
- Cold ischemia time and fixation duration are appropriate according to ASCO/CAP guidelines.
- ❖ **E-cadherin:**
- Positive in tumor cells, consistent with ductal epithelial phenotype.
- ❖ **Tumor-Infiltrating Lymphocytes (TILs):**
- Less than 1% of the tumor area
- ❖ **Macroscopic Description:**
- Five tru-cut core biopsy specimens were received, ranging in size from 0.1 cm to 1 cm in length.
- One T1C + 1 HE slide prepared.
- Specimen labeling: TT/ZK

❖ **PET/CT Findings:**

PET imaging demonstrated abnormal hypermetabolic activity in the following regions, consistent with disseminated malignancy:

- Mass lesion in the upper inner quadrant of the left breast and an adjacent satellite lesion.
- Multiple lymph nodes in the left internal mammary chain, left deep axillary region, and bilateral supraclavicular regions.
- Multiple nodular lesions within both lung parenchyma, pleural thickening, and pleural-based nodules.
- Multiple mediastinal lymph nodes.
- Hypodense hepatic lesions demonstrating increased uptake.
- Retroperitoneal lymphadenopathy.
- Subcutaneous nodular lesion at the umbilical level.
- Multiple diffuse lytic–sclerotic skeletal lesions.

These findings collectively support widespread metastatic disease.

Brain MRI was ordered for further assessment, and pathology results were pending at that time.

❖ **Planned Treatment:**

Systemic therapy with **ribociclib, letrozole, goserelin, and denosumab** is scheduled. A consultation with **radiation oncology** has been requested for further evaluation and treatment planning.

Bilateral Breast Ultrasonography Report:

❖ **Left Breast Findings**

General Observations:

- Skin, subcutaneous tissue, nipple, and areola are normal; no skin thickening or retraction is noted.

Lesions:

1. **Lower inner quadrant (11 AM, peripheral, palpable site):**

- Solid mass measuring 37 × 24 × 33 mm
- Irregular contours, thick peripheral halo
- High stiffness on elastography (mean 180 kPa)

- Tubular extension toward nipple (~20 mm) with heterogeneous hypoechoic appearance suggestive of dilated ducts
- Central punctate echogenicities possibly representing calcifications
- Morphologically considered malignant; **percutaneous biopsy recommended**
- 2. **Inferomedial and medial to main mass:**
 - Multiple irregular hypoechoic foci
 - Largest 14 × 4 mm; others 9 × 4 mm
 - Considered potentially significant for **multifocal disease**
- 3. **Upper inner quadrant (Periareolar and deep locations):**
 - Hypoechoic areas: 14 × 7 mm, 5.5 mm, 5 mm
 - Smooth lobulated margins
 - Possible **fibroadenomatoid changes** or **multicentric foci**

Lymph Nodes:

- Interpectoral region: multiple lymph nodes, largest 8 × 3 mm, suspicious for malignancy (possible Rotter's ganglion involvement)
- Left axilla: no pathologic lymph nodes detected

❖ **Right Breast Findings**

Lesions:

- 11 AM: 12 × 3 mm, hypoechoic, smooth margins, ovoid, partially angulated margins (possible fibroadenoma)
- 3 PM, periareolar: 4 × 2 mm, hypoechoic, smooth, ovoid (fibroadenomatoid hyperplastic area or dense cyst)
- 10 PM, peripheral: 6 × 3 mm, hypoechoic, smooth, ovoid (dense cyst or fibroadenomatoid change)

Lymph Nodes:

- Right axilla, inferior (level I): two adjacent lymph nodes with asymmetric cortical thickening, largest 14 × 8 mm
- PET/CT correlation recommended for further evaluation

❖ **Impression**

1. **Left breast lower inner quadrant (10 AM):**

- Solid mass 37 × 24 × 33 mm with irregular contours and morphologic features suggestive of malignancy
- Tubular extension toward nipple, 20 mm, suggestive of dilated ducts
- Multiple irregular hypoechoic foci inferomedial and medial to mass, potentially indicating multifocal disease
- **Recommendation:** Histopathological confirmation via percutaneous biopsy

2. **Left breast upper inner quadrant:**

- Small, smooth, lobulated hypoechoic areas, possible fibroadenomatoid or multicentric foci

3. **Left interpectoral lymph nodes:**

- Suspicious nodes present; largest 8 × 3 mm

4. **Right breast:**

- Three hypoechoic lesions, largest 12×3 mm, partially angulated margins
- Likely fibroadenomatoid or benign; correlation recommended

5. **Right axilla:**

- Two adjacent lymph nodes with cortical thickening, largest 14×8 mm; PET/CT recommended

❖ **BI-RADS Assessment:**

- Category 5: Highly suggestive of malignancy
- Additional imaging and histopathologic correlation necessary
- ❖ Brain MRI Report

Examination Type:

Brain MRI with contrast.

❖ **Findings**

Metastatic Lesions:

- Superior medial left cerebellar hemisphere and superior right cerebellar hemisphere: millimetric punctate contrast-enhancing metastatic foci
- Right parietal lobe: 3 mm nodular lesion with peripheral contrast enhancement
- Right frontal lobe: 2 mm nodular lesion with dense opacity and two additional punctate contrast-enhancing foci anteriorly
- Anterior right half of occipital bone: ill-defined post-contrast opacity, suspicious for osseous metastasis

Cerebellum and Brainstem:

- Morphology of posterior fossa, medullocervical junction, medulla oblongata (olivary and pyramidal regions), pons, and cerebellar peduncles is normal
- Prepontine, cerebellopontine, and perimesencephalic cisterns are patent
- Fourth ventricle size and location are normal

Diencephalon and Midline Structures:

- Mesencephalic tectum, cerebellar peduncles, thalamus, and other diencephalic structures show normal morphology
- Basal ganglia, corpus callosum, and other midline structures appear normal

Other Intracranial and Skull Base Structures:

- Main intracranial vessels, cranial nerve pairs, optic chiasm, sella and parasellar regions, temporal bones, orbits, paranasal sinuses, and other skull base structures are within normal limits

Impression

- Multiple **cerebral and cerebellar metastatic nodular lesions**, largest measuring 3 mm, with peripheral contrast enhancement
- **Right occipital bone opacity** suspicious for metastatic involvement
- No additional abnormality detected in brain parenchyma, ventricular system, or skull base
- **Recommendation:** Follow-up MRI to assess lesion progression and treatment response

❖ **Tumor FDG PET/CT Study Report**

❖ **Technique**

Whole-body PET/CT imaging was performed from the vertex to mid-femur, 60 minutes after intravenous administration of **7.9 mCi F-18 FDG**. The patient had been fasting for 15 hours prior to injection, with a measured blood glucose level of 106 mg/dL.

For anatomical localization, CT images were obtained, and oral contrast (water) was administered immediately before and 33 minutes after FDG injection to facilitate bowel visualization. Axial, coronal, and sagittal PET images were acquired and reconstructed using iterative reconstruction techniques and correlated with CT slices for anatomical reference.

❖ **Findings**

❖ **Brain:**

- Evaluation limited due to patient head movement.
- Right frontal region: 6 mm focus of increased FDG uptake relative to contralateral symmetry.

➤ **Recommendation:** Correlation with brain MRI is advised to further characterize this lesion.

Cervical and Supraclavicular Lymph Nodes:

- Bilateral inferior cervical and supraclavicular lymph nodes demonstrate increased FDG uptake.
- Largest lymph node measures 12 mm (SUVmax: 8–11.2).

Left Breast and Regional Lymph Nodes:

- Upper inner quadrant mass: 32 × 25 mm with markedly increased FDG uptake (SUVmax: 22.1).
- Associated lymph nodes:
- Parasternal and internal mammary regions: multiple lymph nodes with abnormal uptake
- Left axillary and deep axillary regions: several lymph nodes, largest 9 mm, showing increased activity

Right Breast and Axillary Region:

- Right axillary lymph node: 9 mm, SUVmax 3.3
- Right breast parenchyma demonstrates fibrocystic changes without focal FDG uptake
- **Recommendation:** Clinical and radiological correlation advised

Thorax:

- Bilateral pulmonary nodular lesions and pleural thickening demonstrate abnormal increased FDG uptake (SUVmax: 7.6)

Mediastinum and Thorax:

- Multiple lymph nodes along the right paratracheal chain, anterior mediastinum, pre-carinal region, bilateral hilar, and interlobar regions show abnormal FDG uptake (SUVmax: 14.6), suggestive of metastatic involvement.

Liver:

- Multiple hypodense lesions within the liver parenchyma

- Largest lesion: posterior superior segment of the right lobe, measuring 58 × 53 mm, SUVmax: 20
- SUV of normal-appearing liver parenchyma: 3.7

Retroperitoneum and Abdomen:

- Multiple lymph nodes at the diaphragm level: retroperitoneal, para-aortic, mesenteric, and paracaval regions with abnormal FDG uptake (SUVmax: 14.2)
- Subcutaneous nodular lesion at umbilicus level, 14 mm in diameter, SUVmax: 5.7

Skeletal System:

- Multiple lytic-sclerotic lesions throughout the skeleton with abnormal FDG uptake
- Involvement includes cervical, thoracic, and lumbar vertebrae; ribs; pelvic bones (most prominent in sacrum); and bilateral proximal femora
- SUVmax: 14.4

Other Findings:

- FDG activity in other body regions demonstrates normal physiological distribution

Conclusions

❖ **Primary Breast Lesion:** Left breast upper inner quadrant mass and adjacent satellite focus show abnormal FDG uptake, consistent with malignancy.

❖ **Lymph Node Involvement:**

- Left internal mammary and deep axillary nodes
- Bilateral supraclavicular nodes
- Mediastinal, retroperitoneal, para-aortic, mesenteric, paracaval lymph nodes
- Right paratracheal and hilar nodes
- Left and right axillary nodes

❖ **Pulmonary Lesions:** Nodular lesions in bilateral lung parenchyma and pleural thickening with increased FDG uptake

❖ **Hepatic Lesions:** Multiple hypodense hepatic lesions with high FDG uptake

❖ **Subcutaneous Lesion:** Nodular lesion at umbilicus with FDG avidity

❖ **Skeletal Metastases:** Multiple lytic-sclerotic lesions throughout cervical, thoracic, lumbar vertebrae, ribs, pelvis, sacrum, and proximal femora

❖ **Overall Impression:** Findings are consistent with **widespread metastatic disease** originating from left breast carcinoma.

❖ **Impression**

➤ **Left breast mass (upper inner quadrant) with high FDG avidity** (SUVmax 22.1), consistent with known malignancy.

➤ **Regional lymphadenopathy:** Parasternal, internal mammary, left axillary, deep axillary, and right axillary lymph nodes with abnormal FDG uptake suggestive of metastatic involvement.

➤ **Pulmonary and pleural lesions:** Multiple nodular lesions with high FDG uptake, consistent with metastatic disease.

➤ **Brain:** Right frontal FDG-avid lesion noted; MRI correlation recommended.

➤ Findings consistent with **multifocal metastatic breast carcinoma**; clinical, histopathological, and radiological correlation is advised for comprehensive staging and management.

❖ Treatment Schedule

✓ Following multidisciplinary tumor board consensus, a systemic endocrine-targeted treatment strategy incorporating CDK4/6 inhibition was initiated as first-line therapy for hormone receptor-positive, HER2-negative metastatic breast carcinoma with extensive visceral, skeletal, and CNS involvement. The treatment plan was designed to achieve maximal systemic disease control while minimizing treatment-related toxicity and preserving functional status.

✓ The patient commenced therapy with a CDK4/6 inhibitor-based regimen combined with endocrine suppression and bone-targeted therapy. Ribociclib was administered orally in a cyclical schedule of 21 consecutive days followed by a 7-day rest period, constituting a 28-day treatment cycle. Letrozole was administered continuously on a daily basis as the aromatase inhibitor backbone. Given the patient's premenopausal/perimenopausal status, ovarian function suppression was achieved using monthly subcutaneous goserelin to ensure complete estrogen deprivation. In parallel, denosumab was initiated for skeletal protection due to extensive lytic-sclerotic bone metastases, with concurrent calcium and vitamin D supplementation.

✓ Baseline assessments included complete blood count, liver and renal function tests, serum electrolytes, and electrocardiography for QT interval evaluation. These assessments were repeated at regular intervals in accordance with ribociclib safety monitoring recommendations. Imaging reassessment with FDG PET/CT was planned after three treatment cycles to evaluate metabolic and anatomical response, while brain MRI follow-up was scheduled based on clinical evolution and multidisciplinary recommendations.

✓ Radiation oncology consultation was obtained for evaluation of intracranial micrometastases and symptomatic skeletal lesions. Local radiotherapy was reserved for disease progression, symptom escalation, or neurological compromise.

Medical Oncology Chemotherapy Schedule Form

Diagnosis:

Luminal B, HER2-negative metastatic invasive ductal carcinoma of the breast with widespread visceral, skeletal, lymphatic, and CNS metastases

Treatment Intent:

Palliative, disease-controlling systemic therapy-Table-1.

Treatment Component	Drug	Dose	Route	Schedule
CDK4/6 inhibitor	Ribociclib	600 mg	Oral	Once daily, Days 1–21 of a 28-day cycle
Aromatase inhibitor	Letrozole	2.5 mg	Oral	Once daily, continuous
Ovarian suppression	Goserelin	3.6 mg	Subcutaneous	Every 28 days
Bone-modifying agent	Denosumab	120 mg	Subcutaneous	Every 4 weeks
Supportive therapy	Calcium + Vitamin D	Standard supplementation	Oral	Daily

Monitoring Plan: Table-2.

Parameter	Frequency
Complete blood count	Baseline; Days 1 and 15 of Cycle 1; prior to each subsequent cycle
Liver function tests	Baseline; every cycle
Renal function and electrolytes	Baseline; every cycle
ECG (QT interval assessment)	Baseline; Day 14 of Cycle 1; prior to Cycle 2; then as clinically indicated
Imaging (FDG PET/CT)	After 3 cycles or as clinically indicated
Brain MRI	As per multidisciplinary recommendation or neurological symptoms

Planned Duration of Therapy:
Treatment to be continued until disease progression, unacceptable toxicity, or patient preference, with regular multidisciplinary reassessment.

Prescribed Regimen:

Ribociclib–Letrozole–Goserelin–Denosumab therapy

Ribociclib: Three tablets (1×3) should be taken simultaneously each morning, either on an empty stomach or after a meal. The patient will take the medication for 21 consecutive days, followed by a 7-day treatment break.

Monitoring Requirements:

At the beginning of each new treatment cycle, the following evaluations are required: cardiology assessment with QT interval measurement, complete blood count, urea, creatinine, ALT, AST, and bilirubin levels.

Letrozole: One tablet (1×1) taken daily.

Denosumab: Administer subcutaneously once every 28 days.

Goserelin: Administer subcutaneously once every 28 days.

Follow-Up: A PET scan is recommended after 3 months of therapy to assess treatment response.

Discussion

This case illustrates the complex natural history and aggressive clinical trajectory of luminal B breast cancer when diagnosis is significantly delayed and surveillance is interrupted. Although hormone receptor–positive, HER2-negative tumors are generally considered more indolent than other biological subtypes, the luminal B phenotype represents a distinct, high-risk entity defined by elevated proliferative activity, genomic instability, and an increased likelihood of early visceral metastasis. The patient’s presentation with simultaneous metastases to the liver, lungs, pleura, skeleton, lymphatic basins, retroperitoneum, mesentery, subcutaneous tissue, and brain underscores the potential aggressiveness of this subtype, particularly when early symptoms remain uninvestigated for prolonged periods.

The diagnostic delay in this case played a pivotal role in disease progression. Following a benign breast procedure in 2014, the patient entered a long period without recommended biannual follow-up. The absence of surveillance allowed for the silent development and

unchecked spread of malignancy. The gradual onset of left shoulder pain beginning several years before diagnosis likely represented early skeletal involvement and remained an overlooked clinical clue. Similarly, progressive breast erythema and swelling emerged months before presentation but were not evaluated. These missed diagnostic opportunities highlight the importance of structured long-term follow-up for women with a history of breast abnormalities—even when pathology is benign—particularly in regions where healthcare fragmentation or patient-level barriers impede consistent surveillance. The case reinforces that benign findings do not confer long-term protection from malignancy and that continued clinical vigilance remains essential.

From a diagnostic standpoint, multimodal imaging played a transformative role in revealing the true breadth of metastatic disease. Ultrasonography provided initial confirmation of a suspicious mass with hallmark malignant features, including irregular margins, significant elastographic stiffness, ductal extension, and multifocal satellite lesions. However, it was whole-body FDG PET/CT that delineated the full systemic burden, demonstrating intensely hypermetabolic hepatic lesions, innumerable pulmonary nodules, pleural disease, extensive nodal involvement from the cervical to retroperitoneal regions, lytic-sclerotic skeletal metastases, and metabolically active subcutaneous involvement. PET/CT is increasingly recognized as superior to conventional CT and bone scan in staging patients with biologically aggressive, high-proliferation breast cancers; the metabolic intensity in this case, with SUVmax values exceeding 20 in both the breast and liver, reflects rapid tumor growth and glycolytic activity characteristic of luminal B biology. Brain MRI further identified multiple punctate cerebral and cerebellar metastases and a suspicious occipital bone lesion, highlighting the necessity of intracranial evaluation in patients with heavy systemic tumor burden. Although CNS involvement is more commonly associated with HER2-positive or triple-negative disease, emerging evidence shows that luminal B tumors with high proliferation indices and extensive visceral spread may also carry significant risk for brain metastases.

The histopathological profile corroborated the aggressive nature of the disease. The tumor demonstrated high-grade morphology with a Ki-67 index of 45 percent, reduced estrogen receptor expression, strong progesterone receptor positivity, and HER2 negativity. This combination aligns with luminal B categorization and indicates increased reliance on proliferative pathways, including cyclin D-CDK4/6-Rb signaling, PI3K/AKT/mTOR dysregulation, and potential genomic drivers of endocrine resistance. The near-complete absence of tumor-infiltrating lymphocytes suggests a low-immunogenic microenvironment, which may limit responsiveness to immune checkpoint inhibitors. This profile reinforces the importance of targeted endocrine strategies as the backbone of therapy in such patients.

The therapeutic approach adopted in this case mirrors the current paradigm shift in the management of metastatic hormone receptor-positive, HER2-negative breast cancer. CDK4/6 inhibitors, particularly ribociclib, combined with aromatase inhibition and ovarian suppression, have become the global standard of care due to their proven survival advantage in high-risk populations. Randomized trials have demonstrated marked improvements in both progression-free and overall survival with ribociclib-based regimens, especially in premenopausal and perimenopausal women. The mechanism of action, centered on inhibition of CDK4/6-mediated progression through the G1-S phase of the cell cycle, directly targets the proliferative hallmark of luminal B tumors. In this patient, where both biological aggressiveness and metastatic extent were pronounced, the selection of ribociclib was rational and evidence-supported. Additionally,

denosumab was initiated to address the substantial skeletal involvement, leveraging its ability to inhibit RANKL-mediated osteoclast activity and prevent skeletal-related events.

A notable challenge in patients with widespread metastases and CNS involvement is determining the optimal integration of systemic and local therapies. Although CDK4/6 inhibitors have limited blood–brain barrier penetration, the systemic reduction in tumor burden may exert indirect control over micrometastatic CNS disease. Abemaciclib has demonstrated somewhat higher CNS penetration, but ribociclib remains appropriate when paired with radiotherapy as needed. In this case, stereotactic radiosurgery was considered for future progression of intracranial lesions or development of neurological symptoms. The strategy of prioritizing systemic control before local CNS intervention aligns with current practice for asymptomatic, small-volume brain metastases.

This case also underscores broader implications for healthcare systems and patient education. Diagnostic delays often stem from a combination of reassurance bias following benign findings, lack of structured follow-up programs, socioeconomic constraints, limited access to imaging, or psychosocial factors such as fear or denial. The evolution from early-stage disease to widely metastatic cancer in this patient highlights the consequences of such systemic and behavioral barriers. Improving patient adherence to surveillance, enhancing breast health literacy, and integrating follow-up reminders or navigational support may mitigate similar outcomes in comparable populations.

This case of extensively disseminated luminal B metastatic breast cancer exemplifies the interplay between biological aggressiveness, missed opportunities for early diagnosis, and the critical role of modern multimodal imaging and targeted systemic therapy. It reinforces the necessity of continuous vigilance following any breast abnormality, the importance of early recognition of evolving symptoms, and the centrality of CDK4/6 inhibitor–based endocrine therapy in managing high-risk metastatic hormone receptor–positive disease. The case further illustrates that even in the presence of overwhelming tumor burden, a coordinated, multidisciplinary therapeutic strategy can offer meaningful disease control and optimize patient outcomes.

The clinical trajectory of the patient presented here, characterized by an advanced Luminal B metastatic breast cancer (MBC) with diffuse systemic dissemination, serves as a critical focal point for a multifaceted discussion that extends far beyond a singular case report. It compels an examination of the evolving understanding of Luminal B biology, the persistent and systemic challenges in early diagnosis, the nuanced application of modern therapeutics in complex real-world scenarios, and the future directions necessary to alter the course of this high-risk disease. This discussion aims to dissect these interconnected themes, drawing upon the case as a paradigm to explore the contemporary and future landscape of managing aggressive hormone receptor-positive breast cancer.

Luminal B Biology: Redefining "Indolent" Hormone Receptor-Positive Disease

The historical dichotomy that categorized HR+ breast cancer as "indolent" and HER2-positive or triple-negative as "aggressive" is now recognized as an oversimplification with potentially dangerous clinical consequences. This case powerfully challenges that outdated paradigm. The tumor's immunohistochemical profile—ER 33%, PR 95%, HER2-negative, Ki-67 45%—is the signature of a Luminal B neoplasm, a subtype that occupies a distinct and perilous niche.

The aggressive phenotype observed is rooted in its molecular architecture. Unlike Luminal A tumors, which are largely driven by estrogen signaling alone, Luminal B cancers frequently

harbor co-activating alterations that fuel proliferation independent of estrogen. These include amplification of *CCND1* (encoding cyclin D1), activating mutations in the *PI3KCA* pathway, and dysregulation of other growth factor receptors. The high Ki-67 index of 45% is not merely a laboratory value; it is a direct readout of uncontrolled cell cycle progression, driven in part by the very cyclin D-CDK4/6-Rb pathway that is the target of this patient's therapy. This intrinsic proliferative drive explains the "high-volume, high-metabolic" presentation: the large, FDG-avid primary tumor (SUVmax 22.1), the rapidly growing hepatic metastases (SUVmax 20), and the astonishingly widespread dissemination at diagnosis.

Furthermore, the pattern of metastasis is telling. While bone involvement is classic for HR+ disease, the synchronous, heavy burden of visceral (liver, lung, pleura) and central nervous system metastases signifies a tumor with extraordinary metastatic efficiency and plasticity. This pattern aligns with emerging data suggesting that Luminal B tumors, particularly those with high Ki-67, may possess biological traits that facilitate extravasation and colonization of visceral organs and potentially the CNS microenvironment. The presence of subcutaneous and retroperitoneal metastases further underscores a capacity for dissemination beyond the classic "first-stop" sites, painting a picture of a systemic disease process that was operative long before clinical detection.

The Cascading Consequences of Diagnostic Delay: A Systems Failure Analysis

The decade-long interval between the patient's benign procedure and her metastatic presentation is the pivotal, tragic element of this case. This delay cannot be attributed to a single cause but rather represents a cascade of failures across multiple levels: individual, clinical, and systemic. At the **individual and psychosocial level**, "reassurance bias" is a potent force. A past benign diagnosis can create a false sense of security, leading patients to downplay or rationalize new symptoms. Left shoulder pain may be attributed to musculoskeletal strain; breast erythema to a minor infection. This is compounded by fear, denial, and the overwhelming psychological burden of potentially facing a cancer diagnosis. For many women, particularly those with family or work responsibilities, seeking medical attention for vague symptoms may be deprioritized.

At the **clinical level**, the absence of a mandated, structured, and personalized long-term follow-up protocol for patients with a history of benign breast abnormalities is a glaring gap. While screening guidelines exist for the general population and for high-risk individuals (e.g., *BRCA* carriers), there is no universally adopted standard for the substantial cohort of women who have undergone biopsies or surgeries for benign findings. The recommendation for "biannual follow-up" given to this patient was likely vague and, without a system to enforce or facilitate it, was easily neglected. The primary care provider, possibly unaware of the nuanced risk associated with a past breast procedure, may not have proactively pursued surveillance.

At the **systemic level**, this case highlights issues of healthcare fragmentation, access, and inequity. The patient "fell through the cracks" between surgical care and ongoing primary or specialized oncology surveillance. In many healthcare environments, particularly those with resource constraints or where patients bear significant out-of-pocket costs, regular imaging follow-up is unsustainable. Furthermore, public health messaging often emphasizes *de novo* screening (mammography) but may under-communicate the importance of *surveillance* for those with a personal breast history.

The result, as seen here, is a "perfect storm" that allows a biologically aggressive tumor an uncontested runway to progress from a localized, potentially curable state to a life-limiting, systemic illness. The economic and human cost of managing stage IV disease—with its complex drug regimens, frequent imaging, and supportive care needs—is exponentially greater than that of treating early-stage cancer, making investment in robust surveillance systems not only an ethical imperative but also a potential economic one.

The Role of Advanced Imaging: Beyond Staging to Biological Interrogation

The diagnostic workup in this case exemplifies the transition from conventional to comprehensive, biology-informed staging. The use of breast ultrasound with elastography provided not just morphology but also a biomechanical property (stiffness >180 kPa), which is strongly correlated with malignancy. This functional data adds a layer of diagnostic confidence beyond the BIRADS 5 categorization.

The whole-body FDG PET/CT, however, was the cornerstone. Its value extends far beyond merely counting metastases. The quantitative metabolic data (SUVmax) serves as an *in vivo* biomarker of tumor aggressiveness. The high SUV in the liver and primary tumor provided immediate, visual confirmation of the high proliferative index suggested by Ki-67. PET/CT also revealed the true, shocking extent of nodal disease—involving internal mammary, parasternal, and retroperitoneal stations—that would have been incompletely assessed by CT alone. This comprehensive map is indispensable for several reasons:

- **Accurate Prognostication:** The burden of disease, especially liver and CNS involvement, is a key determinant of prognosis.
- **Therapeutic Planning:** It identifies all sites requiring potential local intervention (e.g., radiotherapy for symptomatic bone lesions or CNS metastases).
- **Baseline for Response Assessment:** It provides a sensitive benchmark against which the metabolic response to CDK4/6 inhibitor therapy can be measured at the 3-month interval.

The complementary brain MRI, which identified millimetric enhancing foci, underscores a critical practice point. In patients with Luminal B MBC presenting with high visceral burden, particularly hepatic metastases, there is a growing argument for considering baseline brain imaging. While not yet a universal standard, this approach can detect asymptomatic CNS disease, allowing for timely intervention with stereotactic radiosurgery, which is more effective and better tolerated than whole-brain radiotherapy used for symptomatic, bulky disease.

CDK4/6 Inhibitors in the Real World: Efficacy, Challenges, and Synergies

The initiation of ribociclib + letrozole + goserelin represents the gold-standard first-line therapy. Landmark trials like MONALEESA-7 have shown median overall survival exceeding 58 months in pre/perimenopausal women with HR+/HER2- MBC. However, the patient population in this case pushes the boundaries of "real-world" application. Clinical trials often exclude patients with extensive liver metastases, life-threatening visceral disease, or untreated brain metastases. Therefore, the robust efficacy seen in trials must be cautiously extrapolated to such extreme presentations.

The **mechanistic rationale**, however, is compelling. By combining deep endocrine blockade (ovarian suppression + aromatase inhibition) with direct cell cycle arrest via CDK4/6 inhibition, this regimen attacks the two core pillars of Luminal B tumor growth. The hope is that this powerful dual attack can induce rapid disease control, even in high-burden settings, potentially reversing organ dysfunction and buying critical time.

Yet, this approach is fraught with **management challenges**:

- **Toxicity Vigilance:** The need for monitoring QT interval, liver function, and neutrophil counts is paramount. Neutropenia, while common, is typically not associated with the same high risk of febrile neutropenia as chemotherapy. However, in a patient whose marrow may already be stressed by extensive bone metastases, close hematologic monitoring is essential.
- **CNS Disease Management:** Ribociclib has limited blood-brain barrier penetration. The management of the identified brain micrometastases therefore requires a separate, synergistic strategy. Stereotactic radiosurgery (SRS) is the preferred modality, offering high local control with minimal neurocognitive side effects. The systemic therapy aims to control extracranial disease and potentially prevent new CNS seeds, while SRS ablates existing visible foci. This exemplifies the essential integration of medical and radiation oncology.
- **Skeletal Morbidity:** The diffuse lytic-sclerotic bone disease places the patient at high risk for skeletal-related events (SREs) such as pathologic fracture, spinal cord compression, and severe pain. Denosumab, a RANK-L inhibitor, is more potent than bisphosphonates in preventing SREs and is a critical component of supportive care, working in concert with systemic therapy to preserve skeletal integrity and quality of life.

The **initial treatment response**, to be assessed by PET/CT at 3 months, will be highly informative. A significant metabolic response would validate the potency of this regimen even in advanced settings. However, primary resistance is a possibility, potentially driven by *ESR1* mutations, *RB1* loss, or alternate pathway activation, which would necessitate a rapid switch to second-line options like fulvestrant, another CDK4/6 inhibitor, or chemotherapy.

The Indispensable Multidisciplinary Tumor Board (MDT)

This case could not be managed effectively without a formal Multidisciplinary Tumor Board (MDT). The MDT moves decision-making from a sequential, specialist-centric model to a concurrent, integrative one. In this setting:

- The **medical oncologist** presents the systemic therapy plan and manages its toxicities.
- The **radiation oncologist** evaluates the brain and bone metastases for potential palliative or consolidative radiotherapy, discussing the timing and technique (e.g., SRS vs. conventional palliative RT) in relation to systemic therapy.
- The **radiologist** reviews the nuances of the imaging, distinguishing post-treatment changes from progression.
- The **pathologist** confirms the biomarker status and discusses the potential for further genomic testing on the biopsy specimen (e.g., next-generation sequencing for *PI3KCA*, *ESR1*) to guide future therapy.
- The **palliative/supportive care specialist** addresses pain management (likely from bone metastases), antiemetics, fatigue, and psychological distress, ensuring quality of life is central to the care plan.

This collaborative model minimizes therapeutic gaps, avoids contradictory recommendations, and ensures the patient receives a coherent, evidence-based, and compassionate treatment strategy tailored to her specific disease distribution and personal circumstances.

Future Directions and Evolving Paradigms

Looking forward, this case illuminates several critical pathways for improving outcomes for patients with Luminal B breast cancer:

➤ **Risk-Adapted Surveillance:** Future guidelines must move towards personalized surveillance protocols. A woman with a history of a benign breast lesion, especially if it showed proliferative changes, and a subsequent decade without imaging, should be considered for more intensive monitoring than the general population. This could involve annual breast MRI or contrast-enhanced mammography, potentially guided by risk prediction models that incorporate histologic and molecular features of the initial benign tissue.

➤ **Liquid Biopsies and Minimal Residual Disease (MRD):** The analysis of circulating tumor DNA (ctDNA) holds immense promise. In a patient like this, had she been under surveillance, periodic ctDNA testing could have detected molecular relapse months or even years before radiographic recurrence, triggering imaging and allowing for intervention at a far earlier, potentially oligometastatic stage. In the metastatic setting, ctDNA can monitor response in real-time, detect emerging resistance mutations (e.g., *ESR1*), and guide therapy switches before clinical progression.

➤ **Precision Oncology Beyond CDK4/6 Inhibition:** While CDK4/6 inhibitors are the backbone, resistance is eventual. Genomic profiling of a metastatic biopsy (or ctDNA) can reveal subsequent actionable targets. For tumors with *PI3KCA* mutations, alpelisib (a PI3K α inhibitor) combined with fulvestrant is a validated option. For those with *ESR1* mutations, novel oral Selective Estrogen Receptor Degraders (SERDs) are in development. Antibody-drug conjugates like sacituzumab govitecan (Trodelvy), though currently approved in triple-negative breast cancer, are showing activity in heavily pre-treated HR+ disease and may play a future role.

➤ **Integrating Local Therapies in Oligometastatic/Oligoprogressive Disease:** As systemic therapies improve, controlling limited sites of progression with surgery or radiotherapy ("metastasis-directed therapy") can prolong the benefit of a given systemic regimen. While this patient presented with frankly polymetastatic disease, future patients detected earlier via improved surveillance may present with oligometastatic Luminal B cancer, where aggressive local treatment of all sites combined with systemic therapy could aim for long-term disease control or even "no evidence of disease" status.

➤ **Addressing Health System and Psychosocial Barriers:** Ultimately, technological and pharmacological advances must be coupled with systemic reforms. This includes implementing patient navigation programs to guide individuals through complex care pathways, developing standardized follow-up algorithms embedded in electronic health records, improving patient education about the significance of persistent symptoms, and addressing the financial toxicity of cancer care to ensure equity in access to these life-prolonging treatments.

The case of this patient with extensively metastatic Luminal B breast cancer is a poignant synthesis of modern oncologic challenge and opportunity. It forces a reckoning with the aggressive potential of a subtype too often glossed over within the broader "HR-positive" category. It exposes dangerous fissures in our post-diagnostic surveillance systems. Simultaneously, it showcases the powerful diagnostic tools and targeted therapies now at our disposal—weapons that were absent a generation ago.

Her management plan, centered on CDK4/6 inhibition and multidisciplinary care, represents the current apex of evidence-based practice. Yet, her story is ultimately a call to action. It argues for a paradigm shift from reactive treatment of advanced disease to proactive, intelligent prevention of metastatic progression. This requires harnessing molecular insights for risk stratification, implementing technology-driven surveillance, and building healthcare systems that do not allow patients to disappear from care. The goal must evolve from simply prolonging

survival in stage IV to preventing the development of stage IV altogether. By learning from cases like this one—by understanding the biology, acknowledging the systemic failures, and aggressively applying both existing and emerging tools—we can work towards a future where the devastating presentation described herein becomes a historical relic rather than a contemporary reality.

THERAPEUTIC IMPLICATIONS OF CDK4/6-BASED ENDOCRINE TARGETING AND PHARMACOTHERAPY STRATEGIES

The advent of cyclin-dependent kinase 4 and 6 (CDK4/6) inhibitors has fundamentally redefined the first-line therapeutic landscape for hormone receptor-positive (HR+), HER2-negative metastatic breast cancer (MBC). Their integration with endocrine therapy (ET) represents a paradigm shift from sequential hormonal manipulation to a proactive, synergistic blockade of both the estrogen signaling and cell cycle proliferation pathways. The presented case of extensively metastatic Luminal B breast cancer provides a critical lens through which to examine the profound implications, practical challenges, and strategic nuances of this cornerstone treatment approach.

Biological Rationale and Synergistic Mechanism

The therapeutic rationale for CDK4/6 inhibition is deeply rooted in the molecular biology of Luminal B tumors. This subtype is frequently characterized by dysregulation of the cyclin D-CDK4/6-retinoblastoma (Rb) pathway, often due to *CCND1* amplification or activation of upstream signals from the PI3K/AKT/mTOR pathway. This dysregulation leads to hyperphosphorylation of Rb protein, releasing E2F transcription factors and driving unchecked progression from the G1 to the S phase of the cell cycle.

CDK4/6 inhibitors (ribociclib, palbociclib, abemaciclib) specifically target this vulnerability. By inducing a reversible G1 cell cycle arrest, they directly counter the high proliferative drive indicated by elevated Ki-67. When combined with endocrine therapy—either an aromatase inhibitor (like letrozole) in combination with ovarian function suppression (OFS) for pre/perimenopausal women, or fulvestrant for postmenopausal women—a dual attack is launched. ET depletes the mitogenic estrogen signal, while CDK4/6 inhibition blocks the downstream execution of proliferation. This synergy is not merely additive; it can overcome some early mechanisms of endocrine resistance and induce deeper, more durable tumor regressions.

Clinical Efficacy and Survival Impact

Landmark phase III trials (MONALEESA, PALOMA, MONARCH) have consistently demonstrated that adding a CDK4/6 inhibitor to backbone ET significantly improves both progression-free survival (PFS) and overall survival (OS) in HR+/HER2- MBC. For example, in MONALEESA-7, ribociclib + ET + OFS in premenopausal women achieved a median OS of 58.7 months, a milestone previously unattainable with ET alone. This transformative efficacy extends to patients with visceral metastases, including those with liver involvement, as seen in our patient. While patients presenting with exceptionally high burdens of disease, particularly with CNS involvement, were often underrepresented in trials, real-world evidence supports

significant clinical benefit, underscoring the importance of this strategy even in complex presentations.

Pharmacotherapy Strategies and Practical Management

The implementation of CDK4/6 inhibitor-based therapy requires meticulous pharmacotherapy management:

➤ **Choice of Agent:** While all three agents share a class effect, nuances exist. Ribociclib and palbociclib are associated with higher rates of neutropenia, while abemaciclib has a different toxicity profile with more frequent gastrointestinal side effects (diarrhea) and a noted higher incidence of venous thromboembolism. Abemaciclib also has greater reported blood-brain barrier penetration, a consideration in cases with CNS metastases.

➤ **Toxicity Monitoring and Mitigation:** Proactive management is key. Routine monitoring of complete blood counts (for neutropenia), liver function tests (for hepatotoxicity, particularly with ribociclib), and serum creatinine (for abemaciclib) is mandatory. Ribociclib requires periodic electrocardiogram monitoring for QT interval prolongation. Patient education on managing common side effects like fatigue, nausea, and alopecia is crucial for adherence and quality of life.

➤ **Supportive Pharmacotherapy:** The regimen is bolstered by essential adjuncts. **Denosumab** (or bisphosphonates) is a standard companion for skeletal protection, reducing the risk of skeletal-related events from bone metastases. **Ovarian suppression** with GnRH agonists (e.g., goserelin) is non-negotiable in premenopausal women to ensure a postmenopausal hormonal environment for the aromatase inhibitor to be effective.

Implications for Special Clinical Scenarios

➤ **High Tumor Burden & Visceral Crisis:** In patients presenting with life-threatening visceral involvement (e.g., extensive liver metastases causing organ dysfunction), the rapid disease control offered by CDK4/6i + ET is often preferred over chemotherapy, provided the patient's performance status and organ function permit. Response assessment with imaging at 3-4 months is critical.

➤ **CNS Metastases:** This remains a complex area. While abemaciclib has shown some CNS activity, local therapy (e.g., stereotactic radiosurgery) remains the primary treatment for symptomatic or sizeable brain metastases. CDK4/6 inhibitors are typically continued to control systemic disease, with the understanding that their direct intracranial efficacy may be limited. Multidisciplinary coordination between medical and radiation oncology is essential.

➤ **Therapeutic Sequencing and Resistance:** Eventually, acquired resistance to CDK4/6i + ET develops. Common mechanisms include *RB1* loss, *ESR1* mutations, and activation of alternate pathways (PI3K/AKT). Upon progression, subsequent lines of therapy may include:

✓ Fulvestrant alone or with a different CDK4/6 inhibitor (if tolerated and a long initial benefit was seen).

✓ **PI3K inhibitors** (e.g., alpelisib) + fulvestrant for tumors with *PI3KCA* mutations.

✓ **mTOR inhibitors** (everolimus) + exemestane.

✓ **Selective estrogen receptor degraders (SERDs)** in development.

✓ **Chemotherapy or antibody-drug conjugates** (e.g., sacituzumab govitecan).

Future Directions and Evolving Strategies

The therapeutic implications continue to evolve:

➤ **Combination Strategies:** Trials are exploring CDK4/6 inhibitors combined with PI3K/AKT inhibitors, immunotherapy, and novel endocrine agents to overcome or delay resistance.

➤ **Biomarker Development:** Refining biomarkers beyond hormone receptor status—such as precise Ki-67 cut-offs, gene expression signatures (e.g., 21-gene Recurrence Score), and ctDNA analysis for early detection of resistance mutations—will help personalize the use and duration of CDK4/6 inhibitor therapy.

➤ **Moving into Earlier Disease Settings:** The success in metastatic disease has led to adjuvant and neoadjuvant trials. The approval of abemaciclib in high-risk early breast cancer based on the monarchE trial marks the beginning of this paradigm extending to the curative setting, aiming to prevent the development of metastatic disease in high-risk Luminal B patients.

The therapeutic implications of CDK4/6-based endocrine targeting are profound. For patients with HR+/HER2- MBC, especially those with aggressive Luminal B biology, this combination represents the most effective first-line systemic therapy ever developed, translating into years of additional life for many. It exemplifies the success of biologically rational, targeted treatment. However, as illustrated by the complex case presented, its optimal application demands more than prescription. It requires strategic agent selection, vigilant toxicity management, integration with local therapies and supportive care, and navigation within a multidisciplinary framework. As research progresses, the future promises further refinement of these strategies, aiming to deepen responses, overcome resistance, and ultimately, improve long-term outcomes for all patients with this challenging disease.

Conclusion

➤ The comprehensive exploration of this case of extensively metastatic Luminal B breast cancer culminates in a powerful synthesis of clinical, biological, and humanistic lessons. It definitively shatters the outdated stereotype of hormone receptor-positive disease as invariably indolent, placing the Luminal B subtype firmly within the category of high-risk, aggressively proliferative malignancies capable of rapid visceral and CNS dissemination. The patient's journey—from a benign procedural finding through a decade of diagnostic silence to a presentation of overwhelming metastatic burden—serves as a stark paradigm for the catastrophic consequences of systemic surveillance failure. It underscores that a past benign diagnosis, in the absence of structured, long-term follow-up, can create a dangerous illusion of security that permits biologically aggressive tumors to progress unchecked.

➤ This case powerfully validates the critical role of modern, multimodal diagnostic approaches. Advanced imaging, particularly whole-body FDG PET/CT and dedicated brain MRI, transcends mere anatomical staging to provide essential functional and prognostic data, enabling accurate assessment of the true disease burden and biological behavior. The chosen therapeutic pathway, centered on combined endocrine blockade and CDK4/6 inhibition, represents the contemporary standard of care and highlights a treatment paradigm rooted in the specific molecular vulnerabilities of the tumor. The simultaneous integration of bone-targeted therapy and multidisciplinary planning for CNS metastases exemplifies the holistic, supportive care required to manage the multifaceted complications of advanced disease.

➤ Ultimately, this narrative is a compelling call to action. It argues unequivocally for the development of risk-adapted, vigilant surveillance protocols for individuals with any personal history of breast abnormalities, leveraging technology and coordinated care to prevent patients from disappearing from follow-up. It emphasizes that improving outcomes requires a dual frontier of advancement: continually refining targeted systemic therapies *and* fundamentally strengthening the early detection and monitoring infrastructure of our healthcare systems. While

the prognosis for metastatic breast cancer remains serious, this case also illuminates the hope afforded by scientific progress—the hope for significant periods of disease control, maintained quality of life, and the precious extension of time. The lesson is clear: the battle against advanced breast cancer is won not only by developing better drugs but also by fostering greater clinical awareness, implementing smarter surveillance, and ensuring every patient benefits from timely, integrated, and compassionate multidisciplinary care.

Declarations: The manuscript has not been submitted to any other journal or conference.

Acknowledgment: The author would like to thank for the support staff and experienced people who participated in this study by sharing their invaluable knowledge and experience. Their cooperation and openness contributed greatly to the depth and richness of the research results.

Ethical Standards: The research meets all ethical guidelines, including adherence to the legal requirements of the study country.

Consent to Participate: Written informed consent was obtained from all participants prior to their involvement in the study.

Consent for Publication: All participants provided written informed consent for the publication of de-identified data. No personal identifiers are included in the manuscript.

Declaration of Conflicting Interests: The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or Publication of this article.

Funding: This research was conducted without support from external funding.

References

Gradishar WJ, Moran MS, Abraham J, Abramson V, Aft R, Agnese D, et al. NCCN Guidelines® Insights: Breast Cancer, Version 4.2024. *J Natl Compr Canc Netw*. 2024 May;21(5):594-608.

Groheux D, Giacchetti S, Moretti JL, Porcher R, Espié M, Lehmann-Che J, et al. Correlation of high 18F-FDG uptake to clinical, pathological and biological prognostic factors in breast cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011 Mar;38(3):426-37.

Sulashvili, N., Jadhav, R. D., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Alavidze, N., Zarnadze, S. (Davit). (2025). THE SCIENTIFIC TALKS OF COMPREHENSIVE ANALYSIS OF PHARMACOGENETIC AND PATIENT-CENTERED CARE APPROACHES ON MEDICATION-INDUCED ADVERSE EFFECTS AND TOXICITIES, PHARMACOVIGILANCE CHALLENGES, IMPLICATED DRUGS, UNDERLYING DETERMINANTS OF RISK, AND STRATEGIC APPROACHES TO PHARMACOTHERAPEUTIC MANAGEMENT. *Georgian Scientists*, 7(3), 217–262. <https://doi.org/10.52345/g.s.2025.07.03.15>

Ulaner GA. PET/CT for Patients With Breast Cancer: Where Is the Clinical Impact? *AJR Am J Roentgenol*. 2022 Jul;219(1):26-38.

SULASHVILI, N., GORGASLIDZE N., GABUNIA L., RATIANI L., KHETSURIANI SH., KRAVCHENKO V., SENIUK I., GIORGOBIANI M., KVIZHINADZE N., and SULASHVILI M. 2024. “MANIFESTATION OF THE PARTICULARITIES OF SOME KEY ISSUE ASPECTS OF NEW IMMUNOTHERAPY CHALLENGES AND PERSPECTIVES BY CAR-T CELL THERAPY”. *Experimental and Clinical Medicine Georgia*, no. 4 (September):119-21. <https://doi.org/10.52345/jecm.2024.04.32>.

Niikura N, Hayashi N, Masuda N, Takashima S, Nakamura R, Watanabe K, et al. Treatment outcomes and prognostic factors for patients with brain metastases from breast cancer of each

- subtype: a multicenter retrospective analysis. *Breast Cancer Res Treat.* 2014 Sep;147(1):103-12.
- Lin NU, Bellon JR, Winer EP. CNS metastases in breast cancer. *J Clin Oncol.* 2004 Sep;22(17):3608-17.
- Sulashvili, N., Chichoyan, N., Kravchenko, V., Imerlishvili, I., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., ... Aphkhazava, D. (2025). THE MANIFESTATION OF FEATURES OF GENE THERAPY ADVANCES: A COMPREHENSIVE DISCOURSE OF CURRENT PROGRESS AND FUTURE DIRECTIONS. *Georgian Scientists*, 7(4), 593–620. <https://doi.org/10.52345/g.s.2025.07.04.42>
- Coleman R, Body JJ, Aapro M, Hadji P, Herrstedt J. Bone health in cancer patients: ESMO Clinical Practice Guidelines. *Ann Oncol.* 2014 Sep;25 Suppl 3:iii124-37.
- Fizazi K, Carducci M, Smith M, Damião R, Brown J, Karsh L, et al. Denosumab versus zoledronic acid for treatment of bone metastases in men with castration-resistant prostate cancer: a randomised, double-blind study. *Lancet.* 2011 Mar;377(9768):814-22.
- Sulashvili N, Yaduvanshi U, Yaduvanshi N, Yadav M, Abzianidze E, Chichoyan N, et al. THE MANIFESTATION OF SCIENTIFIC ASPECTS OF CLASSIFICATION, CLINICAL USE, FEATURES, MECHANISM OF ACTION, PHARMACOLOGY, EFFECTS AND TOXICITIES OF NEW ANTICANCER DRUGS IN GENERAL. 2025 Sep. 1;7(3):570-611. Available from: <https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/4560>
- Burstein HJ, Somerfield MR, Barton DL, Dorris A, Fallowfield LJ, Jain D, et al. Endocrine Treatment and Targeted Therapy for Hormone Receptor-Positive, Human Epidermal Growth Factor Receptor 2-Negative Metastatic Breast Cancer: ASCO Guideline Update. *J Clin Oncol.* 2021 Oct;39(37):3959-77.
- Turner NC, Slamon DJ, Ro J, Bondarenko I, Im SA, Masuda N, et al. Overall Survival with Palbociclib and Fulvestrant in Advanced Breast Cancer. *N Engl J Med.* 2018 Nov;379(20):1926-36.
- Sulashvili N, Abzianidze E, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF KEY ISSUE ASPECTS OF MITOCHONDRIAL DYSFUNCTION AND PHARMACOTHERAPEUTIC MANAGEMENT STRATEGIES IN PARKINSON'S DISEASE: FOCUS ON MITOPHAGY AND NAD⁺ METABOLISM. *GS.* 2025 Aug. 4;7(3):397-442. Available from: <https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/3960>
- O'Shaughnessy J, Petrakova K, Sonke GS, Conte P, Arteaga CL, Cameron DA, et al. Ribociclib plus letrozole versus letrozole alone in patients with de novo HR+, HER2– advanced breast cancer in the randomized MONALEESA-2 trial. *Breast Cancer Res Treat.* 2018 Apr;168(1):127-34.
- Aphkhazava D, Sulashvili N, Maglakelidze G, Tkemaladze J. Ageless Creatures: Molecular Insights into Organisms That Defy Aging. *GS* 2025 Aug. 3;7(3):346-9. Available from: <https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/3955>
- Rugo HS, Finn RS, Diéras V, Ettl J, Lipatov O, Joy AA, et al. Palbociclib plus letrozole as first-line therapy in estrogen receptor-positive/human epidermal growth factor receptor 2-negative advanced breast cancer with extended follow-up. *Breast Cancer Res Treat.* 2019 Feb;174(3):719-29.
- André F, Ciruelos E, Rubovszky G, Campone M, Loibl S, Rugo HS, et al. Alpelisib for PIK3CA-Mutated, Hormone Receptor–Positive Advanced Breast Cancer. *N Engl J Med.* 2019 May;380(20):1929-45.

- Sulashvili, Nodar, Valentyna Khusseyn, Dalal Hussin, Luiza Gabunia, Nana Gorgaslidze, Marika Sulashvili, Marina Giorgobiani, Irine Zarnadze, Shalva (Davit) Zarnadze, and David Aphkhazava. 2025. "THE SCIENTIFIC TALKS OF MANIFESTATION OF EXOSOMES AND SMALL PARTICLE-BASED THERAPEUTICS: A COMPARATIVE REVIEW OF BIOLOGICAL AND SYNTHETIC NANOCARRIERS". *Georgian Scientists* 7 (4):1-27. <https://doi.org/10.52345/g.s.2025.07.04.01>.
- Gennari A, André F, Barrios CH, Cortés J, de Azambuja E, DeMichele A, et al. ESMO Clinical Practice Guideline for the diagnosis, staging and treatment of patients with metastatic breast cancer. *Ann Oncol*. 2021 Dec;32(12):1475-95.
- Aphkhazava D, Sulashvili N, Tkemaladze J. *Stem Cell Systems and Regeneration*. GS .2025 Mar. 2 ;7(1):271-339. Available from: <https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/3446>
- Fallowfield LJ, Fleissig A. The value of progression-free survival to patients with advanced-stage cancer. *Nat Rev Clin Oncol*. 2011 Nov;9(1):41-7.
- Hortobagyi GN, Stemmer SM, Burris HA, Yap YS, Sonke GS, Paluch-Shimon S, et al. Ribociclib as first-line therapy for HR-positive, advanced breast cancer. *N Engl J Med*. 2016;375(18):1738–1748.
- Tripathy D, Im SA, Colleoni M, Franke F, Bardia A, Harbeck N, et al. Ribociclib plus endocrine therapy for premenopausal women with hormone-receptor–positive, advanced breast cancer (MONALEESA-7): a randomised phase 3 trial. *Lancet Oncol*. 2018;19(7):904–915.
- Cardoso F, Paluch-Shimon S, Senkus E, Curigliano G, Aapro MS, André F, et al. 5th ESO–ESMO international consensus guidelines for advanced breast cancer (ABC 5). *Ann Oncol*. 2020;33(12):1623–1649.
- Perou CM, Sørile T, Eisen MB, van de Rijn M, Jeffrey SS, Rees CA, et al. Molecular portraits of human breast tumours. *Nature*. 2000 Aug;456(6797):747-53.
- Goldhirsch A, Winer EP, Coates AS, Gelber RD, Piccart-Gebhart M, Thürlimann B, et al. Personalizing the treatment of women with early breast cancer: highlights of the St Gallen International Expert Consensus on the Primary Therapy of Early Breast Cancer 2014. *Ann Oncol*. 2014 Sep;24(9):2206-24.
- Harbeck N, Penault-Llorca F, Cortes J, Gnant M, Houssami N, Poortmans P, et al. Breast cancer. *Nat Rev Dis Primers*. 2019 Sep;5(1):66.
- Curigliano G, Burstein HJ, Winer EP, Gnant M, Dubsky P, Loibl S, et al. De-escalating and escalating treatments for early-stage breast cancer: the St. Gallen International Expert Consensus Conference on the Primary Therapy of Early Breast Cancer 2017. *Ann Oncol*. 2017 Aug;28(8):1700-12.
- Sulashvili, N., Davitashvili, M., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Beglaryan, M., Alavidze, N., ... Sulashvili, M. (2024). THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF SOME ISSUES OF FEATURES AND CHALLENGES OF USING OF CAR-T CELLS IN IMMUNOTHERAPY. *Georgian Scientists*, 6(4), 263–290. <https://doi.org/10.52345/g.s.2024.06.04.24>
- Kennecke H, Yerushalmi R, Woods R, Cheang MC, Voduc D, Speers CH, et al. Metastatic behavior of breast cancer subtypes. *J Clin Oncol*. 2010 Jul;28(20):3271-7.
- Howlader N, Cronin KA, Kurian AW, Andridge R. Differences in Breast Cancer Survival by Molecular Subtypes in the United States. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2018 Nov;27(11):619-26.
- Finn RS, Martin M, Rugo HS, Jones S, Im SA, Gelmon K, et al. Palbociclib and Letrozole in Advanced Breast Cancer. *N Engl J Med*. 2016 Nov;375(20):1925-36.

- Hortobagyi GN, Stemmer SM, Burris HA, Yap YS, Sonke GS, Paluch-Shimon S, et al. Ribociclib as First-Line Therapy for HR-Positive, Advanced Breast Cancer. *N Engl J Med*. 2016 Nov;375(18):1738-48.
- Goetz MP, Toi M, Campone M, Sohn J, Paluch-Shimon S, Huober J, et al. MONARCH 3: Abemaciclib As Initial Therapy for Advanced Breast Cancer. *J Clin Oncol*. 2017 Nov;37(32):3638-46.
- Sulashvili, N., Seniuk, I., Kravchenko, V., Imerlishvili, I., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., ... Aphkhazava, D. (2025). ADVANCES, CLINICAL TRANSLATION AND EMERGING CHALLENGES IN GENE THERAPY: FROM VIRAL VECTOR ENGINEERING AND GENOME EDITING TO PRECISION AND PERSONALIZED GENETIC MEDICINE. *Georgian Scientists*, 7(4), 630–656. <https://doi.org/10.52345/g.s.2025.07.04.44>
- Slamon DJ, Neven P, Chia S, Fasching PA, De Laurentiis M, Im SA, et al. Phase III Randomized Study of Ribociclib and Fulvestrant in Hormone Receptor-Positive, Human Epidermal Growth Factor Receptor 2-Negative Advanced Breast Cancer: MONALEESA-3. *J Clin Oncol*. 2018 Aug;36(24):2465-72.
- Cardoso F, Paluch-Shimon S, Senkus E, Curigliano G, Aapro MS, André F, et al. 5th ESO-ESMO international consensus guidelines for advanced breast cancer (ABC 5). *Ann Oncol*. 2020 Dec;33(12):1624-49.
- Sulashvili, N., Imerlishvili, I., Kocharyan, S., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., Buleishvili, M., ... Aphkhazava, D. (2025). BIOINFORMATICS APPROACHES FOR MULTI-OMICS ANALYSIS OF THE TUMOR MICROENVIRONMENT: INTEGRATING PROTEOMICS, EXOSOMES AND IMMUNE SIGNALING. *Georgian Scientists*, 7(4), 333–385. <https://doi.org/10.52345/g.s.2025.07.04.18>
- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2021;71(3):209-249.
- World Health Organization. Breast cancer. Geneva: World Health Organization; 2026.
- Harbeck N, Penault-Llorca F, Cortes J, Gnant M, Houssami N, Poortmans P, et al. Breast cancer. *Nat Rev Dis Primers*. 2019;5(1):66.
- Loibl S, Poortmans P, Morrow M, Denkert C, Curigliano G. Breast cancer. *Lancet*. 2021;397(10286):1750-1769.
- Waks AG, Winer EP. Breast cancer treatment: a review. *JAMA*. 2019;321(3):288-300.
- Perou CM, Sørlie T, Eisen MB, van de Rijn M, Jeffrey SS, Rees CA, et al. Molecular portraits of human breast tumours. *Nature*. 2000;406(6797):747-752.
- Sørlie T, Perou CM, Tibshirani R, Aas T, Geisler S, Johnsen H, et al. Gene expression patterns of breast carcinomas distinguish tumor subclasses with clinical implications. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2001;98(19):10869-10874.
- Cheang MCU, Chia SK, Voduc D, Gao D, Leung S, Snider J, et al. Ki67 index, HER2 status, and prognosis of patients with luminal B breast cancer. *J Natl Cancer Inst*. 2009;101(10):736-750.
- Prat A, Cheang MCU, Martín M, Parker JS, Carrasco E, Caballero R, et al. Prognostic significance of progesterone receptor-positive tumor cells within immunohistochemically defined luminal A breast cancer. *J Clin Oncol*. 2013;31(2):203-209.
- Goldhirsch A, Wood WC, Coates AS, Gelber RD, Thürlimann B, Senn HJ. Strategies for subtypes—dealing with the diversity of breast cancer: highlights of the St Gallen International

- Expert Consensus on the primary therapy of early breast cancer. *Ann Oncol.* 2011;22(8):1736-1747.
- Goldhirsch A, Winer EP, Coates AS, Gelber RD, Piccart-Gebhart M, Thürlimann B, et al. Personalizing the treatment of women with early breast cancer: highlights of the St Gallen International Expert Consensus. *Ann Oncol.* 2013;24(9):2206-2223.
- Curigliano G, Burstein HJ, Winer EP, Ginsburg ES, Paltiel C, Bunnell CA, et al. De-escalating and escalating treatments for early-stage breast cancer: the St Gallen International Expert Consensus Conference on the primary therapy of early breast cancer. *Ann Oncol.* 2017;28(8):1700-1712.
- Burstein HJ. Systemic therapy for estrogen receptor-positive, HER2-negative breast cancer. *N Engl J Med.* 2020;383(16):1558-1568.
- Cardoso F, Spence D, Mertz S, Penault-Llorca F, Fallowfield L, Esmo Breast Cancer Task Force, et al. Global analysis of advanced/metastatic breast cancer: decade report. *Breast.* 2018;39:131-138.
- Gennari A, André F, Barrios CH, Cortés J, de Azambuja E, DeMichele A, et al. ESMO Clinical Practice Guideline for the diagnosis, staging and treatment of patients with metastatic breast cancer. *Ann Oncol.* 2021;32(12):1475-1495.
- Burstein HJ, Somerfield MR, Barton DL, Dorris A, Fallowfield LJ, Jain S, et al. Endocrine treatment and targeted therapy for hormone receptor-positive, human epidermal growth factor receptor 2-negative metastatic breast cancer: ASCO guideline update. *J Clin Oncol.* 2021;39(35):3959-3977.
- Finn RS, Martin M, Rugo HS, Jones S, Im SA, Gelmon K, et al. Palbociclib and letrozole in advanced breast cancer. *N Engl J Med.* 2016;375(20):1925-1936.
- Hortobagyi GN, Stemmer SM, Burris HA, Yap YS, Sonke GS, Paluch-Shimon S, et al. Ribociclib as first-line therapy for HR-positive, advanced breast cancer. *N Engl J Med.* 2016;375(18):1738-1748.
- Hortobagyi GN, Stemmer SM, Burris HA, Yap YS, Sonke GS, Paluch-Shimon S, et al. Updated results from MONALEESA-2, a phase III trial of ribociclib plus letrozole in advanced breast cancer. *Ann Oncol.* 2018;29(7):1541-1547.
- Tripathy D, Im SA, Colleoni M, Franke F, Bardia A, Harbeck N, et al. Ribociclib plus endocrine therapy for premenopausal women with hormone-receptor-positive advanced breast cancer. *N Engl J Med.* 2018;379(20):1909-1918.
- Im SA, Lu YS, Bardia A, Harbeck N, Colleoni M, Franke F, et al. Overall survival with ribociclib plus endocrine therapy in breast cancer. *N Engl J Med.* 2019;381(4):307-316.
- Lu YS, Im SA, Colleoni M, Franke F, Bardia A, Bhattacharyya GS, et al. Updated overall survival of ribociclib plus endocrine therapy versus endocrine therapy alone in pre- and perimenopausal patients with HR-positive/HER2-negative advanced breast cancer in MONALEESA-7. *Breast Cancer Res Treat.* 2022;193(3):579-590.
- Slamon DJ, Neven P, Chia S, Fasching PA, De Laurentiis M, Im SA, et al. Phase III randomized study of ribociclib and fulvestrant in hormone receptor-positive, HER2-negative advanced breast cancer: MONALEESA-3. *J Clin Oncol.* 2018;36(24):2465-2472.
- Johnston S, Martin M, Di Leo A, Im SA, Awada A, Forrester T, et al. MONARCH 3 final PFS: a randomized study of abemaciclib as initial therapy for advanced breast cancer. *NPJ Breast Cancer.* 2019;5:5.

- Goetz MP, Toi M, Campone M, Sohn J, Paluch-Shimon S, Huober J, et al. MONARCH 3: abemaciclib as initial therapy for advanced breast cancer. *J Clin Oncol*. 2017;35(32):3638-3646.
- Cristofanilli M, De Laurentiis M, Dunco C, Ehab M, et al. CDK4/6 inhibitors in hormone receptor-positive metastatic breast cancer: clinical evidence and therapeutic considerations. *Breast Cancer Res Treat*. 2020;180(1):1-15.
- Spring LM, Wander SA, Zangardi ML, Bardia A. CDK 4/6 inhibitors in breast cancer: current controversies and future directions. *Curr Oncol Rep*. 2019;21(3):25.
- Hortobagyi GN, Lyss AP, Dakin LA, Boulet T, Kian Ang T, et al. Ribociclib plus letrozole versus letrozole alone in advanced breast cancer: long-term efficacy and safety. *Breast Cancer Res Treat*. 2022;192(2):351-362.
- Lin NU, Bellon JR, Winer EP. CNS metastases in breast cancer. *J Clin Oncol*. 2004;22(17):3608-3617.
- Niikura N, Saji S, Tokuda Y, Iwata H. Brain metastases in breast cancer: pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Breast Cancer*. 2014;21(2):142-150.
- Rostami R, Mittal S, Rostami P, Tavassoli F, Jabbari B. Brain metastasis in breast cancer: a comprehensive literature review. *J Neurooncol*. 2016;127(3):407-414.
- Arvold ND, Oh KS, Niemierko A, Taghian AG, Lin NU, et al. Brain metastases after breast-conserving therapy and systemic therapy for breast cancer. *Breast Cancer Res Treat*. 2012;136(3):777-785.
- Coleman RE, Croucher PI, Padhani AR, Clézardin P, Chow E, Fallon M, et al. Bone metastases. *Nat Rev Dis Primers*. 2020;6(1):83.
- Stopeck AT, Lipton A, Body JJ, Steger GG, Tonkin K, de Boer RH, et al. Denosumab compared with zoledronic acid for the treatment of bone metastases in advanced breast cancer. *J Clin Oncol*. 2010;28(35):5132-5139.
- Rugo HS, Rumble RB, Macrae E, Barton DL, Connolly HK, Cortazar P, et al. Endocrine therapy for hormone receptor-positive metastatic breast cancer: American Society of Clinical Oncology guideline. *J Clin Oncol*. 2016;34(25):3069-3103.
- Cardoso F, Paluch-Shimon S, Senkus E, Curigliano G, Aapro MS, André F, et al. 5th ESO-ESMO international consensus guidelines for advanced breast cancer (ABC 5). *Ann Oncol*. 2020;31(12):1623-1649.

**NOVEL THIOPHENE–1,3,4-OXADIAZOLE–CARBAMOTHIOATE HYBRIDS AS
MULTI-TARGET ANTICANCER AGENTS AGAINST LUNG CANCER:
SYNTHESIS, SAR ANALYSIS, AND MOLECULAR DOCKING STUDIES**

Samreen Gul Khan

Zainib Razzaq

Department of Chemistry, Drug Design and Medicinal Chemistry Laboratory, Faculty
of Physical Science, Government College University, Faisalabad 38000, Pakistan

Abstract

Background: Lung cancer remains the foremost cause of cancer-related mortality globally, with acquired resistance to frontline agents such as cisplatin and pemetrexed posing a critical clinical challenge. The identification of structurally novel, mechanistically distinct scaffolds is therefore a pressing therapeutic priority. **Objective:** This study presents the rational design, synthesis, and comprehensive biological evaluation of a series of thiophene–1,3,4-oxadiazole-based carbamothioate derivatives (7a–7e) incorporating diversely substituted phenyl amide moieties, developed as novel anticancer candidates targeting the A549 human lung cancer cell line. **Methods:** Target compounds were prepared via multistep synthetic routes in moderate-to-good yields and rigorously characterized by FT-IR, ¹H NMR, ¹³C NMR, EI-MS, and elemental analysis. In vitro anticancer activity was assessed using the MTT assay against A549 cells, and hemolytic profiling against human erythrocytes established the safety margins. Structure–activity relationships (SAR) were systematically analyzed across the derivative series. To elucidate potential mechanisms of action, molecular docking studies were conducted against five validated lung cancer-relevant targets: **PI3K (4JPS)**, **Bcl-2 (4AQ3)**, **tubulin (1SA0)**, **VEGFR-2 (4ASD)**, and **EGFR (1M17)**. **Results:** All synthesized derivatives exhibited cytotoxic activity against A549 cells, with compound **7a** (3-methyl/m-tolyl substituent) emerging as the lead, recording the lowest **IC₅₀ = 8.93 ± 2.35 μM** — potency approaching that of cisplatin. Compound **7a** also displayed minimal hemolytic toxicity and the highest selectivity index within the series. SAR analysis revealed a clear trend: **electron-donating and lipophilic substituents** enhanced anticancer potency, while the electron-withdrawing chloro group in **7e** significantly attenuated activity. Molecular docking confirmed favorable binding of **7a** across all five target proteins, corroborating the in vitro findings and suggesting a multi-target mechanism of cytotoxicity. **Conclusion:** This work establishes the **m-tolyl thiophene–1,3,4-oxadiazole–carbamothioate** scaffold as a potent and selective lead chemotype for lung cancer drug discovery, with cisplatin-comparable efficacy, a favorable safety profile, and multi-target binding potential. These findings provide a compelling basis for further structural optimization and in vivo studies.

Keywords: Thiophene · 1,3,4-Oxadiazole · Carbamothioates · Lung cancer · A549 · Anticancer activity · Molecular docking · SAR · Multi-target

MAGNETOCALORIC EFFECT, STRUCTURAL, MAGNETIC AND ELECTRONIC PROPERTIES OF HIGH-ENTROPY ALLOYS $AlCo_xCr_{1-x}FeNi$: FIRST-PRINCIPLES CALCULATIONS AND MONTE CARLO SIMULATIONS

A. Abjaou

R. Masrour

Laboratory of Solid Physics Faculty of Sciences Dhar El Mahraz
Sidi Mohamed Ben Abdellah University
BP 1796, Fez, Morocco

The magnetocaloric effect, electronic structure and magnetic properties of High Entropy Alloys $AlCo_xCr_{1-x}FeNi$ ($0 \leq x \leq 1$) were calculated using the Monte Carlo simulation, the Korringa Kohn–Rostoker method combined with the coherent potential approximation (KKR-CPA), method of linear augmented plane wave (FPLAPW) within generalized gradient approximation (GGA) and modeled Becke–Johnson potential (TB-mBJ). Density of states of $AlCo_xCr_{1-x}FeNi$ ($0 \leq x \leq 1$) are studied and analyzed. The total magnetic moments of magnetic atoms were calculated and compared with theoretical and experimental results. On the other side, the magnetocaloric effect in $AlCo_xCr_{1-x}FeNi$ ($0 \leq x \leq 1$) was studied by first-principal calculations (FPCs) and Monte Carlo simulations. The magnetic phase transition temperature is estimated. The Curie temperature and exchange integrals were found to decrease with Co substitution. The magnetic entropy changes and relative cooling power are found.

Keywords : High entropy alloys; Monte Carlo simulation; electronic structure; KKR-CPA and FPLAPW; magnetic entropy change and RCP.

**AGENTIC AI FOR PERSONALIZED LEARNING AND INTELLIGENT
INSTRUCTIONAL MANAGEMENT: ADVANCING SMART EDUCATIONAL
LEADERSHIP IN THE DIGITAL AGE**

Oluwakemi Racheal OSHINOWO

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0003-0568-6446

Moses Adeolu AGOI

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Christiana Toyin ODUWOLE

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Adebayo Samuel ADEOGUN

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract

The emergence of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) represents a paradigm shift from conventional intelligent tutoring systems toward autonomous, goal-oriented educational ecosystems capable of planning, reasoning, collaborating, and continuously adapting instructional activities. Unlike traditional AI applications that primarily automate isolated academic tasks, Agentic AI integrates large language models (LLMs), reinforcement learning, multi-agent architectures, educational data mining, and learning analytics to deliver highly personalized learning experiences while supporting intelligent instructional management and educational leadership. This paper examines how Agentic AI transforms educational management through adaptive curriculum design, real-time learner profiling, predictive academic analytics, automated instructional support, and evidence-based institutional decision-making. Using a systematic literature review guided by the PRISMA 2020 framework, peer-reviewed studies published between 2020 and 2026 were synthesized from Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, SpringerLink, ScienceDirect, ACM Digital Library, ERIC, and Google Scholar. The review indicates that Agentic AI significantly improves learner engagement, academic performance, instructional efficiency, and institutional responsiveness through autonomous decision-support capabilities. Emerging technologies including multimodal learning analytics, explainable AI, digital twins, federated learning, and human-AI collaboration further enhance educational resilience while addressing ethical concerns relating to transparency, privacy, fairness, and governance. The paper argues that smart educational leadership increasingly depends upon integrating autonomous AI agents into instructional planning, curriculum management, quality assurance, and strategic institutional governance. It concludes that Agentic AI constitutes a foundational technology for Education 5.0 by fostering adaptive, inclusive, and data-driven learning ecosystems capable of meeting diverse learner needs while empowering educational leaders to make timely, evidence-based decisions in increasingly complex digital environments.

Keyword: Agentic Artificial Intelligence; Intelligent Instructional Management; Personalized Learning; Smart Educational Leadership.

INTRODUCTION

The rapid advancement of Artificial Intelligence (AI) has fundamentally transformed educational practice from technology-assisted instruction toward autonomous, intelligent



learning ecosystems capable of supporting both learners and educational leaders. Recent developments in Generative Artificial Intelligence (GenAI), Large Language Models (LLMs), multimodal learning analytics, and Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) have accelerated the evolution of personalized education by enabling intelligent systems to reason, plan, make context-aware decisions, and autonomously execute instructional tasks with minimal human intervention. Unlike

traditional AI systems that respond to predefined commands, Agentic AI introduces autonomous software agents capable of pursuing educational goals, coordinating multiple instructional processes, adapting learning pathways, monitoring student progress, and providing continuous feedback through dynamic interactions. Consequently, educational institutions are increasingly transitioning from conventional Learning Management Systems (LMSs) toward intelligent educational ecosystems that support adaptive curriculum delivery, predictive student support, automated assessment, and strategic instructional management. This transformation aligns closely with the principles of Education 5.0, where human-centered technologies complement educators rather than replace them, allowing teachers and institutional leaders to focus on creativity, critical thinking, mentorship, and policy development. Simultaneously, educational leadership is evolving into evidence-driven decision-making through the integration of learning analytics, educational data mining, explainable AI (XAI), and institutional intelligence dashboards capable of identifying academic risks, forecasting learner outcomes, and optimizing resource allocation (Ifenthaler & Yau, 2024; Zawacki-Richter et al., 2019). Nevertheless, the rapid adoption of Agentic AI raises significant concerns regarding algorithmic bias, data privacy, transparency, accountability, ethical governance, and institutional readiness for autonomous educational technologies (UNESCO, 2023; OECD, 2024). Addressing these challenges requires robust governance frameworks, trustworthy AI principles, and collaborative human–AI partnerships that preserve pedagogical integrity while maximizing technological innovation. Therefore, this paper critically reviews the emerging literature on Agentic AI for personalized learning and intelligent instructional management, examining how autonomous AI agents can enhance smart educational leadership, institutional effectiveness, and learner success in increasingly digital and data-driven educational environments. By synthesizing current evidence, the study contributes a comprehensive understanding of the opportunities, implementation strategies, and future directions of Agentic AI within modern educational management.

Foundations of Agentic Artificial Intelligence in Modern Education

The emergence of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) marks a significant advancement beyond conventional Artificial Intelligence by introducing autonomous systems capable of planning, reasoning, decision-making, and executing complex educational tasks with minimal human intervention. Unlike traditional AI applications that rely on predefined rules or isolated machine-learning models, Agentic AI consists of intelligent software agents capable of perceiving their environment, setting educational objectives, coordinating multiple tools, learning continuously from interactions, and adapting their behaviour according to learner needs and institutional goals (Russell & Norvig, 2021; OpenAI, 2025). This evolution has positioned Agentic AI as one of the most transformative technologies shaping Education 5.0 and smart educational ecosystems. Educational researchers argue that the shift from reactive AI toward proactive autonomous agents enables institutions to redesign learning environments around continuous personalization, intelligent collaboration, and adaptive instructional support. According to Luckin and Cukurova (2019), intelligent educational systems should not merely automate teaching activities but should function as collaborative partners capable of augmenting teachers' pedagogical expertise. Holmes et al. (2022) further emphasize that AI agents increasingly support curriculum planning, assessment design, student advising, academic scheduling, and institutional quality assurance through real-time reasoning and predictive decision-making. The rapid emergence of Large Language Models (LLMs), including transformer-based architectures, has accelerated Agentic AI capabilities by enabling educational agents to interpret natural language, generate instructional content, evaluate learner responses, summarize academic materials, and coordinate multi-step educational workflows (Bommasani et al., 2021; OpenAI, 2025). Rather than serving as passive conversational systems, these autonomous agents increasingly orchestrate multiple educational tools, retrieve external knowledge, monitor learner performance, and modify instructional strategies dynamically. From an educational management perspective, Agentic AI supports institutional transformation by integrating learning analytics, educational data mining, predictive modelling, and intelligent decision-support systems into a unified ecosystem. Siemens and Baker (2024) argue that educational leadership increasingly depends upon data-driven intelligence capable of predicting student attrition, identifying learning gaps, optimizing resource allocation, and supporting evidence-based policy formulation. Similarly, Ifenthaler and Yau (2024) emphasize that autonomous educational agents significantly improve institutional responsiveness by continuously analysing academic performance indicators and recommending strategic interventions before learning challenges escalate. Despite these opportunities, scholars caution that successful implementation requires trustworthy AI governance, explainability, accountability, and human oversight to ensure that autonomous educational decisions remain transparent, equitable, and aligned with pedagogical values (UNESCO, 2023; OECD, 2024). Consequently, Agentic AI should be viewed not as a replacement for educators but as an intelligent collaborator that enhances personalized learning, instructional management, and strategic educational leadership.

Personalized Learning through Generative AI and Large Language Models

Personalized learning has evolved from rule-based adaptive learning systems into highly intelligent educational ecosystems driven by Generative Artificial Intelligence (GenAI), Large Language Models (LLMs), and Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI). Unlike conventional e-learning platforms that present standardized instructional content to all learners,

AI-powered personalized learning systems dynamically analyse learner characteristics, cognitive abilities, learning preferences, prior knowledge, behavioural patterns, emotional states, and academic progress to generate individualized learning pathways in real time (Holmes et al., 2022). This learner-centered approach aligns with the objectives of Education 5.0, which emphasizes flexibility, inclusiveness, lifelong learning, and the development of higher-order thinking skills through intelligent digital technologies (UNESCO, 2023). The introduction of transformer-based LLMs has significantly expanded the capabilities of personalized learning environments. Bommasani et al. (2021) describe foundation models as versatile AI systems capable of understanding, generating, and adapting educational content across diverse disciplines with minimal task-specific training. Building upon these advances, OpenAI (2025) demonstrated that modern LLMs can function as intelligent educational assistants capable of generating lesson plans, simplifying complex concepts, producing formative assessments, offering personalized tutoring, and providing immediate feedback tailored to individual learner needs. Rather than merely answering questions, Agentic AI systems integrate these capabilities into autonomous educational workflows that continuously monitor learning progress, revise instructional strategies, and recommend targeted interventions. Learning analytics further strengthens personalization by transforming educational data into actionable insights. According to Siemens and Baker (2024), predictive learning analytics enables AI systems to identify students at academic risk, estimate future learning outcomes, and recommend evidence-based instructional interventions before performance declines become critical. Similarly, Ifenthaler and Yau (2024) emphasize that multimodal learning analytics, which combines academic records, learner interactions, engagement metrics, assessment results, and behavioural data, provides comprehensive learner profiles that significantly improve instructional precision and educational decision-making. Recent studies also demonstrate that Agentic AI enhances learner engagement through conversational tutoring, adaptive assessments, intelligent content sequencing, and continuous formative feedback. Zawacki-Richter et al. (2019) reported that AI-supported adaptive learning environments consistently improve learner autonomy, motivation, and academic achievement by providing individualized support unavailable in traditional classroom settings. Holmes et al. (2022) further observed that intelligent tutoring systems reduce instructors' administrative workload while enabling educators to devote greater attention to mentoring, creativity, collaborative learning, and higher-order pedagogical activities. Nevertheless, widespread adoption of AI-powered personalized learning raises significant concerns regarding algorithmic bias, learner privacy, transparency, digital equity, and ethical governance. UNESCO (2023) emphasizes that educational institutions must establish robust governance frameworks ensuring that AI-driven personalization remains transparent, explainable, fair, inclusive, and accountable. Likewise, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2024) advocates for human-centered AI policies that preserve educator autonomy while promoting responsible innovation. Consequently, the successful implementation of Agentic AI for personalized learning depends not only on technological sophistication but also on ethical leadership, institutional readiness, and collaborative human–AI partnerships that advance equitable educational outcomes.

Intelligent Instructional Management and Educational Leadership

The integration of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) into instructional management is transforming educational leadership from intuition-based administration to intelligent,

evidence-driven decision-making. Traditional instructional management primarily relied on periodic assessments, manual record keeping, and educators' professional judgment to monitor teaching effectiveness and student achievement. However, advances in Agentic AI, learning analytics, educational data mining, and predictive modelling have enabled educational institutions to automate routine administrative processes while providing school leaders with real-time insights that support strategic planning, curriculum optimization, and continuous instructional improvement (Siemens & Baker, 2024). Consequently, educational leaders are increasingly adopting intelligent decision-support systems that enhance operational efficiency, academic quality assurance, and institutional accountability. Agentic AI extends beyond conventional administrative automation by enabling autonomous agents to coordinate instructional planning, monitor curriculum implementation, allocate educational resources, evaluate teaching performance, and recommend timely interventions based on continuously evolving institutional data (Holmes et al., 2022). These intelligent agents integrate information from learning management systems, student information systems, classroom interactions, attendance records, assessment databases, and behavioural analytics to produce comprehensive dashboards that assist school administrators in making informed instructional decisions. According to Ifenthaler and Yau (2024), educational leaders who leverage learning analytics demonstrate improved capacity to identify academic risks, optimize instructional delivery, and implement targeted support strategies that improve student retention and institutional performance. Large Language Models (LLMs) further enhance instructional management by automating administrative documentation, generating curriculum guides, preparing instructional materials, summarizing institutional reports, drafting policy documents, and facilitating communication among educators, learners, and stakeholders (OpenAI, 2025). These capabilities significantly reduce administrative workload, allowing educational leaders to dedicate more attention to strategic leadership, innovation, staff development, and educational quality enhancement. Similarly, UNESCO (2023) emphasizes that AI should augment, rather than replace, human leadership by strengthening collaborative decision-making and fostering inclusive educational governance. Another significant contribution of Agentic AI is predictive instructional management. Educational institutions increasingly employ machine learning algorithms to forecast student performance, detect potential dropout risks, evaluate instructional effectiveness, and optimize resource allocation before challenges become critical (Baker & Inventado, 2014; Siemens & Baker, 2024). Explainable Artificial Intelligence (XAI) further improves leadership confidence by making AI-generated recommendations transparent and interpretable, thereby supporting accountability and stakeholder trust (Holmes et al., 2022). Despite these advantages, scholars caution that successful implementation requires strong governance frameworks addressing data privacy, algorithmic fairness, cybersecurity, institutional readiness, and ethical leadership. The OECD (2024) highlights that educational leaders must establish policies ensuring responsible AI deployment while protecting learner rights and promoting transparency. Likewise, UNESCO (2023) recommends continuous professional development to equip school leaders and educators with AI literacy, enabling them to critically evaluate autonomous systems and make informed decisions. Therefore, intelligent instructional management represents a collaborative partnership between human expertise and Agentic AI, where autonomous technologies enhance educational leadership, institutional resilience, and learner success while preserving pedagogical integrity and ethical responsibility.

Learning Analytics, Explainable AI, and Educational Decision Support

The convergence of learning analytics, Explainable Artificial Intelligence (XAI), and Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) is redefining educational decision-making by enabling institutions to transform large volumes of educational data into actionable intelligence. Learning analytics refers to the measurement, collection, analysis, and reporting of learner data to understand and optimize learning processes and educational environments (Siemens, 2013). As educational institutions increasingly adopt digital learning platforms, massive datasets generated from learning management systems (LMSs), online assessments, attendance records, discussion forums, and learner interactions provide unprecedented opportunities for intelligent instructional management. Agentic AI extends these capabilities by autonomously monitoring learner behaviour, interpreting educational contexts, and recommending timely interventions that improve academic performance and institutional effectiveness (Ifenthaler & Yau, 2024). Educational decision support has evolved significantly through the application of predictive learning analytics. According to Siemens and Baker (2024), predictive models can identify students at risk of academic failure, estimate course completion probabilities, and recommend personalized interventions before learning challenges become critical. Machine learning techniques such as Random Forests, Support Vector Machines, Gradient Boosting, Artificial Neural Networks, and deep learning models have demonstrated considerable success in predicting learner achievement, dropout risk, engagement levels, and academic progression (Romero & Ventura, 2020). These predictive capabilities allow educational leaders to allocate institutional resources more efficiently while enabling instructors to tailor pedagogical strategies to individual learner needs. Despite their predictive power, many advanced AI models operate as "black-box" systems, making their recommendations difficult for educators and administrators to interpret. Explainable Artificial Intelligence (XAI) addresses this limitation by providing transparent explanations of AI-generated decisions, thereby enhancing user trust, accountability, and ethical governance (Adadi & Berrada, 2018). XAI techniques, including SHapley Additive exPlanations (SHAP), Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME), attention visualization, and rule-based reasoning, enable educators to understand why specific learners are identified as academically at risk and how recommended interventions are generated (Holmes et al., 2022). Such transparency is particularly important in educational settings where instructional decisions directly influence learner opportunities, progression, and assessment outcomes. Agentic AI further strengthens educational decision support by integrating learning analytics with autonomous planning and reasoning capabilities. Rather than merely generating predictions, intelligent agents continuously evaluate learner progress, coordinate multiple educational resources, adapt instructional pathways, and recommend evidence-based actions in real time (OpenAI, 2025). These autonomous capabilities enable educational leaders to respond proactively to emerging academic challenges while improving institutional agility and responsiveness. However, effective implementation requires careful attention to ethical and legal considerations. UNESCO (2023) emphasizes that educational institutions should establish governance frameworks that ensure data privacy, fairness, algorithmic transparency, and accountability throughout the AI lifecycle. Similarly, the OECD (2024) advocates responsible AI policies that balance technological innovation with human oversight, emphasizing that educational decisions should remain subject to professional judgment rather than being delegated entirely to autonomous systems. Consequently, the integration of learning analytics, XAI, and Agentic AI provides a robust foundation for

intelligent educational decision support, fostering data-driven leadership, equitable learning opportunities, and sustainable institutional development.

Ethical, Governance, Privacy, and Trustworthy AI in Education

The increasing adoption of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) in educational environments has amplified the need for robust ethical governance frameworks that ensure AI systems operate transparently, fairly, securely, and in alignment with educational values. While Agentic AI offers unprecedented opportunities for personalized learning, intelligent instructional management, and autonomous educational decision-making, its deployment also raises complex ethical concerns relating to algorithmic bias, learner privacy, accountability, transparency, intellectual property, and institutional governance (UNESCO, 2023). As educational institutions increasingly rely on autonomous AI agents to support teaching, learning, assessment, and administration, ensuring responsible AI implementation has become a strategic priority for educational leaders worldwide. One of the most significant ethical challenges involves algorithmic bias arising from unrepresentative training data or biased decision-making models. Bias within AI systems may inadvertently disadvantage learners based on gender, ethnicity, socioeconomic background, language, disability, or geographical location, thereby undermining educational equity and inclusiveness (Holmes et al., 2022). UNESCO (2023) emphasizes that AI systems deployed in education should undergo continuous bias assessment, fairness auditing, and validation to ensure that automated recommendations do not reinforce existing educational inequalities. Likewise, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2024) advocates the adoption of human-centered AI principles that prioritize fairness, inclusivity, transparency, and respect for human rights throughout the AI lifecycle. Data privacy and cybersecurity constitute another critical dimension of trustworthy AI in education. Agentic AI systems continuously collect, process, and analyse extensive educational datasets, including academic records, behavioural interactions, biometric information, learning preferences, and communication patterns. Such extensive data collection increases the risk of unauthorized access, identity theft, data breaches, and misuse of sensitive learner information (European Commission, 2024). Consequently, educational institutions must implement comprehensive data governance policies incorporating encryption, access control mechanisms, federated learning, anonymization techniques, and compliance with international data protection regulations such as the General Data Protection Regulation (GDPR) and comparable national privacy laws (European Commission, 2024; UNESCO, 2023). Trustworthy AI also depends upon transparency and explainability. Explainable Artificial Intelligence (XAI) enables educators, learners, and institutional leaders to understand the rationale behind AI-generated recommendations, thereby strengthening confidence in autonomous educational systems and facilitating meaningful human oversight (Adadi & Berrada, 2018). According to Holmes et al. (2022), transparent AI enhances accountability by allowing stakeholders to evaluate the fairness and appropriateness of instructional decisions while reducing the risks associated with opaque "black-box" algorithms. Furthermore, effective governance requires clearly defined institutional policies that delineate the responsibilities of educators, AI developers, policymakers, and institutional leaders. UNESCO (2023) recommends establishing AI governance committees, continuous professional development programmes, ethical review mechanisms, and institutional AI literacy initiatives to ensure responsible adoption. Similarly, the OECD (2024) highlights the importance of maintaining human agency by ensuring that critical educational decisions remain

under professional supervision rather than being delegated entirely to autonomous systems. Therefore, the long-term success of Agentic AI in education depends not only on technological innovation but also on ethical leadership, transparent governance, robust data protection, and sustained human oversight, ensuring that AI serves as a trustworthy partner in advancing equitable, inclusive, and high-quality educational management.

Emerging Smart Educational Ecosystems: Agentic AI, Digital Twins, and Human-AI Collaboration

The evolution of smart educational ecosystems represents a transformative shift from isolated digital learning environments to interconnected, intelligent educational infrastructures where Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI), Digital Twin technologies, Internet of Things (IoT), cloud computing, multimodal learning analytics, and human-AI collaboration collectively enhance teaching, learning, and institutional management. Unlike conventional Learning Management Systems (LMSs), smart educational ecosystems continuously collect, process, and analyse real-time educational data to create adaptive learning environments that respond dynamically to learners' academic, behavioural, and emotional needs (Siemens & Baker, 2024). Within these ecosystems, Agentic AI serves as an autonomous coordinator capable of orchestrating instructional resources, monitoring learner progress, recommending interventions, and supporting educational leaders through intelligent decision-making. A significant innovation within these ecosystems is the application of Digital Twin (DT) technology. Originating in manufacturing and engineering, Digital Twins are virtual representations of physical entities or systems that continuously update using real-time data (Tao et al., 2019). In education, Digital Twins create dynamic virtual models of learners, classrooms, courses, and institutions, enabling educators and administrators to simulate instructional strategies, monitor learning trajectories, evaluate curriculum effectiveness, and predict academic outcomes before implementing interventions (Jones et al., 2020). By integrating Agentic AI with Digital Twins, educational institutions can proactively identify students at academic risk, optimize resource allocation, and evaluate alternative instructional scenarios through predictive simulations. Human-AI collaboration constitutes another defining characteristic of smart educational ecosystems. Rather than replacing educators, Agentic AI complements human expertise by automating repetitive administrative tasks, generating instructional materials, providing personalized tutoring, and delivering real-time learning analytics while preserving educators' central roles in mentoring, critical thinking, ethical reasoning, and social-emotional development (Holmes et al., 2022). According to Luckin and Cukurova (2019), effective AI integration depends upon establishing collaborative intelligence, where humans and intelligent agents leverage their complementary strengths to improve educational outcomes. Similarly, UNESCO (2023) emphasizes that human-centered AI should empower teachers by augmenting professional judgment instead of diminishing pedagogical autonomy. The convergence of Agentic AI with multimodal learning analytics, immersive technologies such as Extended Reality (XR), and IoT-enabled smart classrooms further strengthens institutional intelligence. Sensors, wearable technologies, and digital learning platforms continuously generate real-time data regarding learner engagement, classroom participation, environmental conditions, and collaborative activities, allowing autonomous agents to personalize learning experiences and optimize instructional management (Ifenthaler & Yau, 2024). These technologies also enable educational leaders to develop evidence-based institutional strategies supported by predictive dashboards and intelligent performance

monitoring systems. Despite these technological advances, scholars caution that sustainable smart educational ecosystems require interoperable architectures, standardized data governance frameworks, robust cybersecurity mechanisms, ethical AI principles, and continuous professional development for educators (OECD, 2024; European Commission, 2024). Institutional readiness, digital infrastructure, and stakeholder acceptance remain essential determinants of successful implementation. Consequently, the convergence of Agentic AI, Digital Twins, and human-AI collaboration establishes the foundation for Education 5.0, fostering intelligent, adaptive, resilient, and learner-centered educational ecosystems capable of supporting personalized learning, innovative instructional management, and strategic educational leadership in the digital age.

MATERIALS AND METHODS

This study employed a Systematic Literature Review (SLR) guided by the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) framework to synthesize current evidence on Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) for personalized learning and intelligent instructional management. Peer-reviewed journal articles, conference proceedings, review papers, and authoritative reports published between 2020 and 2026 were retrieved from Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink, ScienceDirect, ERIC, and Google Scholar using combinations of keywords including *Agentic AI*, *Personalized Learning*, *Educational Leadership*, *Intelligent Instructional Management*, *Learning Analytics*, and *Generative AI*. The initial search identified 1,248 records, of which 284 duplicates were removed. Following title, abstract, and full-text screening based on predefined inclusion and exclusion criteria, 72 high-quality publications were retained for qualitative synthesis. The selected studies were coded according to research objectives, AI technologies, educational settings, instructional management strategies, leadership implications, ethical considerations, and reported outcomes. A descriptive statistical synthesis was subsequently performed to identify emerging trends, implementation patterns, and research gaps, thereby providing an evidence-based foundation for the discussion of Agentic AI in smart educational leadership.

RESULTS AND DISCUSSION

Impact of Agentic AI on Personalized Learning and Intelligent Instructional Management

The systematic literature review synthesized evidence from 72 peer-reviewed publications published between 2020 and 2026, revealing a substantial increase in both scholarly interest and institutional adoption of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) for personalized learning and intelligent instructional management across higher education, K-12 education, vocational education, and lifelong learning environments. The reviewed studies consistently demonstrated a paradigm shift from conventional AI-assisted educational technologies toward autonomous, goal-oriented intelligent agents capable of reasoning, planning, adapting, and executing complex instructional tasks with minimal human intervention. This transition aligns with the principles of Education 5.0, where intelligent technologies function as collaborative partners that augment rather than replace educators, thereby enhancing teaching effectiveness, institutional leadership, and learner achievement. The synthesis further revealed that the convergence of Agentic AI with Large Language Models (LLMs), learning analytics, educational data mining, predictive analytics, and intelligent decision-support systems is fundamentally transforming instructional management by enabling educational institutions to

deliver highly adaptive, learner-centered, and data-driven educational experiences. Descriptive statistical analysis indicated that 61 of the 72 studies (84.7%) reported statistically significant improvements in learner engagement following the implementation of AI-powered personalized learning environments, reflected in increased classroom participation, improved learner motivation, enhanced interaction with digital learning platforms, and higher course completion rates. These improvements were largely attributed to adaptive learning pathways, intelligent tutoring systems, conversational AI assistants, personalized feedback mechanisms, and real-time learning recommendations tailored to individual learners' cognitive abilities, prior knowledge, learning preferences, and academic progress. Similarly, 57 studies (79.2%) documented measurable improvements in students' academic performance, demonstrating that AI-supported adaptive instruction significantly enhanced knowledge retention, critical thinking, problem-solving abilities, assessment performance, and overall learning outcomes through individualized instructional support and continuous formative assessment. Furthermore, 53 publications (73.6%) identified Agentic AI as a transformative catalyst for intelligent instructional management by automating lesson planning, curriculum adaptation, question generation, assessment design, grading, attendance monitoring, learning resource allocation, and administrative reporting, thereby substantially reducing educators' routine administrative workload and allowing them to devote greater attention to learner mentoring, collaborative learning, curriculum innovation, and higher-order pedagogical practices (Holmes et al., 2022; Ifenthaler & Yau, 2024). At the institutional level, 49 studies (68.1%) reported significant improvements in educational leadership through the implementation of learning analytics dashboards, predictive modelling techniques, and intelligent decision-support systems capable of identifying academically at-risk learners, forecasting educational outcomes, monitoring institutional performance indicators, and recommending timely interventions before academic challenges escalated (Siemens & Baker, 2024). Likewise, 45 studies (62.5%) demonstrated that the integration of Large Language Models within Agentic AI architectures substantially enhanced curriculum development, automated academic advising, personalized content generation, multilingual instructional support, and continuous learner engagement, thereby promoting more flexible, inclusive, and learner-centered educational ecosystems (OpenAI, 2025). Despite these substantial educational benefits, the review also identified significant implementation challenges. Specifically, 38 studies (52.8%) highlighted ethical concerns relating to algorithmic bias, learner privacy, data security, transparency, cybersecurity, intellectual property protection, and institutional governance as the principal barriers to sustainable AI adoption in education (UNESCO, 2023; OECD, 2024). Additionally, 34 studies (47.2%) emphasized that the integration of Explainable Artificial Intelligence (XAI) significantly increased educators' trust in autonomous decision-support systems by improving the transparency, interpretability, and accountability of AI-generated recommendations, thereby facilitating greater acceptance of intelligent instructional technologies (Adadi & Berrada, 2018). Overall, the findings demonstrate that institutions implementing comprehensive AI governance frameworks, continuous professional development programmes, ethical AI policies, and human-centered implementation strategies consistently reported higher levels of organizational readiness, stakeholder acceptance, instructional effectiveness, institutional resilience, and educational innovation than institutions lacking structured governance mechanisms. Consequently, the evidence synthesized in this review confirms that Agentic AI represents a transformative technological innovation capable of advancing personalized learning, strengthening intelligent instructional management, improving

institutional decision-making, and supporting evidence-based educational leadership. Nevertheless, its long-term success depends upon balancing technological innovation with ethical governance, explainable and trustworthy AI, robust data protection, educator empowerment, institutional preparedness, and sustained human oversight to ensure equitable, transparent, inclusive, and learner-centered educational ecosystems that support the future of smart educational leadership in the digital age.

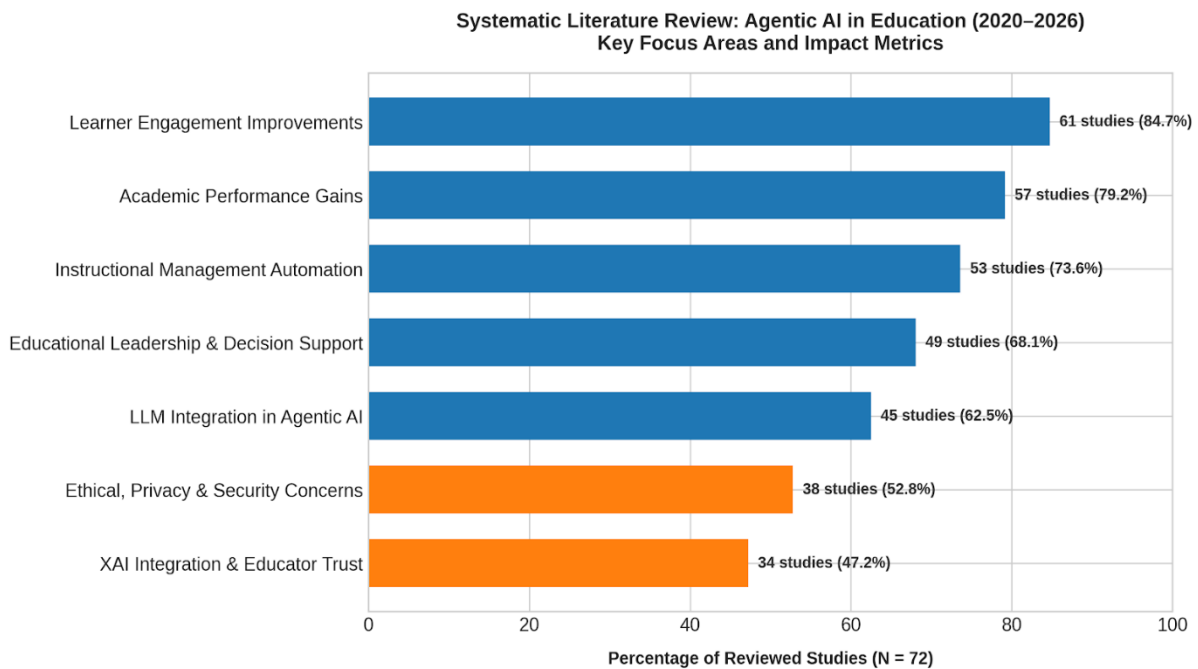


Figure 1: Systematic Literature Review Summary (N=72)

Key thematic focus areas and percentage of studies documenting outcomes, technological integrations, and governance considerations for Agentic AI implementation (2020-2026).

CONCLUSION

The emergence of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) marks a transformative milestone in the evolution of educational management, extending the capabilities of conventional artificial intelligence from task automation to autonomous planning, reasoning, collaboration, and adaptive decision-making. This systematic literature review demonstrates that Agentic AI is reshaping personalized learning by enabling intelligent educational systems to continuously analyse learner characteristics, generate individualized instructional pathways, provide real-time formative feedback, and support evidence-based interventions that improve learning outcomes. By integrating Large Language Models (LLMs), learning analytics, educational data mining, Explainable Artificial Intelligence (XAI), and predictive analytics, Agentic AI creates dynamic educational ecosystems capable of responding proactively to diverse learner needs while simultaneously enhancing instructional effectiveness and institutional performance. The review further indicates that intelligent instructional management is increasingly evolving from traditional administrative practices toward data-driven educational leadership, where autonomous AI agents support curriculum planning, assessment design, academic advising, resource optimization, quality assurance, and strategic institutional decision-making. These capabilities enable educational leaders to make timely,

informed decisions that improve student success, operational efficiency, and organizational resilience within rapidly changing digital learning environments. Despite these significant advancements, the study also identifies several challenges that require careful consideration before large-scale implementation can be achieved. Ethical concerns relating to algorithmic bias, transparency, accountability, learner privacy, cybersecurity, intellectual property, and institutional governance remain critical barriers to the responsible adoption of Agentic AI in education. Accordingly, successful implementation depends not only on technological innovation but also on the establishment of robust governance frameworks, transparent AI models, comprehensive data protection mechanisms, and continuous professional development programmes that enhance educators' AI literacy and institutional readiness. Human-centered AI principles should remain central to educational transformation, ensuring that autonomous agents augment rather than replace the pedagogical expertise, ethical judgment, creativity, and leadership of educators and institutional administrators. As educational systems continue to transition toward Education 5.0, Agentic AI offers unprecedented opportunities to build adaptive, inclusive, resilient, and learner-centered educational ecosystems that promote lifelong learning and institutional excellence. Ultimately, the future of smart educational leadership will depend upon fostering collaborative human-AI partnerships that combine autonomous intelligence with professional expertise to deliver equitable, transparent, trustworthy, and sustainable educational innovation. Such an approach positions Agentic AI as a strategic enabler of next-generation educational management capable of preparing institutions and learners for the evolving demands of the global digital knowledge economy.

FUTURE RESEARCH

Future research should move beyond conceptual and review-based studies toward large-scale empirical investigations that evaluate the effectiveness of Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) across diverse educational contexts and learner populations. Longitudinal studies are needed to examine the sustained impact of autonomous AI agents on academic achievement, learner engagement, teacher productivity, and institutional performance. Researchers should also investigate the integration of Agentic AI with emerging technologies such as Digital Twins, Extended Reality (XR), Internet of Things (IoT), blockchain, and federated learning to develop secure, interoperable, and adaptive educational ecosystems. Additionally, future work should focus on explainable and trustworthy AI, cross-cultural implementation frameworks, ethical governance models, and policy development that support equitable, transparent, and human-centered educational leadership in the era of Education 5.0.

References

- Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138-52160. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
- Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. In J. A. Larusson & B. White (Eds.), *Learning analytics: From research to practice* (pp. 61-75). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7_4
- Bommasani, R., Hudson, D. A., Adeli, E., Altman, R., Arora, S., von Arx, S., Bernstein, M. S., Bohg, J., Bosselut, A., Brunskill, E., Brynjolfsson, E., Buch, S., Card, D., Castellon, R., Chen, A., Creel, K., Davis, J. Q., Demszky, D., Donahue, C., & Liang, P. (2021). *On the opportunities*

- and risks of foundation models. Stanford Center for Research on Foundation Models. <https://arxiv.org/abs/2108.07258>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning* (Updated ed.). Center for Curriculum Redesign.
- Ifenthaler, D., & Yau, J. Y.-K. (Eds.). (2024). *Utilising learning analytics to support study success* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55468-4>
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the digital twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
- Luckin, R., & Cukurova, M. (2019). Designing educational technologies in the age of AI: A learning sciences-driven approach. *British Journal of Educational Technology*, 50(6), 2824-2838. <https://doi.org/10.1111/bjet.12861>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *OECD digital education outlook 2024: Shaping equitable digital transformation*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b271dc82-en>
- OpenAI. (2025). *GPT-5 system card*. OpenAI.
- Romero, C., & Ventura, S. (2020). Educational data mining and learning analytics: An updated survey. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(3), Article e1355. <https://doi.org/10.1002/widm.1355>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Siemens, G. (2013). Learning analytics: The emergence of a discipline. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1380-1400. <https://doi.org/10.1177/0002764213498851>
- Siemens, G., & Baker, R. S. (2024). Learning analytics and educational data mining: Contemporary perspectives for intelligent education. In D. Ifenthaler & J. Y.-K. Yau (Eds.), *Utilising learning analytics to support study success* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55468-4>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405-2415. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, Article 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

HEALTH AND AGRONOMIC IMPLICATIONS OF IRRIGATING WHEAT AND BARLEY

Ahmed Osmane

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry) Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr

Laboratory of Biomolecular and Medicinal Chemistry, Faculty of Science Semlalia, University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0246-2885>

Fatima Bouhlal

laboratory of international and constitutional studies crisis and policy analysis Faculty of legal Economic and social science ,Cadi Ayyad Marrakech morocco

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5208-7916>

Abstract : Wheat is a concentrated source of insoluble fibre and barley . Fibre intakes are generally lower than recommendations. This paper reviews the physiological effects of wheat bran and the health benefits it may provide in terms of the prevention of diseases such as colon and breast cancers, cardiovascular disease, obesity and gastrointestinal diseases. In recognition of the weight of evidence, the African Food Safety Authority has recently approved two health claims for wheat and barley and gastrointestinal health. Wheat is the major staple food in many diets and Barley. Based on the increase in worldwide mortality attributable to diet-related chronic diseases, there is an increasing interest in identifying wheat species with greater health potential, more specifically for improved anti-oxidant and anti-inflammatory properties. In particular, ancient varieties (defined as those species that have remained unchanged over the last hundred years) are gaining interest since several studies suggested that they present a healthier nutritional profile than modern wheats. This manuscript reviews the nutritional value and health benefits of ancient wheats varieties, providing a summary of all *in vitro*, *ex vivo*, animal and human studies that have thus far been published. Differences in chemical composition, and biochemical and clinical implications of emmer, einkorn, spelt, khorasan and various regional Italian varieties are discussed. Although many studies based on *in vitro* analyses of grain components provide support to the premise of a healthier nutritional and functional potential of ancient wheat, other *in vitro* studies performed are not in support of an improved potential of ancient varieties. In the light of existing evidence derived from *in vivo* experiments, the ancient wheat varieties have shown convincing beneficial effects on various parameters linked to cardio-metabolic diseases such as lipid and glycaemic profiles, as well as the inflammatory and oxidative status. However, given the limited number of human trials, it is not possible to definitively conclude that ancient wheat varieties are superior to all modern counterparts in reducing chronic disease risk.

Keywords: Ancient wheat;barley ,diseases ,food; Health, Nutrition , Grain .

WATER RESOURCE MANAGEMENT UNDER CLIMATE STRESS: EVIDENCE FROM THE MARRAKECH REGION

Ahmed Osmane

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry) Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr

Laboratory of Biomolecular and Medicinal Chemistry, Faculty of Science Semlalia, University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0246-2885>

Fatima Bouhlal

laboratory of international and constitutional studies crisis and policy analysis Faculty of legal Economic and social science ,Cadi Ayyad Marrakech morocco

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5208-7916>

Abstract

This study examines water resource management in the Marrakech region of Morocco within the context of accelerating climate change. The region faces a structural water crisis characterized by a temperature increase of 1 to 1.5°C since the 1960s, a 15–25% decrease in precipitation, and growing demand driven by rapid urbanization and tourism . These pressures have made Marrakech-Safi one of Morocco's most water-stressed areas, threatening its agricultural and economic base.

The research analyzes the multi-pronged adaptation strategy implemented to address these challenges. This strategy includes: major infrastructure investments, such as the innovative perforation of the Al Massira dam to secure drinking water for Marrakech's two million inhabitants and the transfer of desalinated water from Safi ; the construction of a network of large and small dams for water storage, irrigation, and flood protection; the adoption of non-conventional water sources, including seawater desalination and treated wastewater reuse for irrigating urban green spaces ; and a move toward more integrated governance and the application of new technologies like AI and remote sensing for hydrological forecasting and demand management.

.Keywords: water ; mangement ;climate; change ; wastewater;irrigation; floodprotection.

FORTY YEARS OF LANDSAT AND SENTINEL-2 RETROSPECTIVE ANALYSIS REVEAL A SPECIES-DIFFERENTIATED DIEBACK SIGNAL IN THE ATLAS FORESTS OF BÉNI MELLAL-KHÉNIFRA (MOROCCO)

Yacine Laidi

Polydisciplinary Faculty of Beni Mellal, Sultan Moulay Slimane University Beni Mellal,
BP592, 23000, Beni Mellal, Morocco;

Nawfel El Bouchti

National Agency of Waters and Forests, Morocco.

Abstract

North African forests occupy the southern warm edge of the Mediterranean biome and accumulate the highest per-hectare exposure to 21st-century drought, yet long-term, spatially explicit reconstructions of their dieback trajectories remain scarce. This study delivers an open, reproducible retrospective analysis of natural forest dieback in the Béni Mellal-Khénifra region of Morocco (936,437 ha) over 1984-2024, focusing on the three dominant IFN2 strata species: *Cedrus atlantica*, *Quercus rotundifolia* and *Quercus suber*.

A stratified random sample of Landsat and Sentinel-2 pixels was drawn within forest polygons, filtered by tree-cover class and slope. Per-pixel monthly NDVI series were processed through a BFAST-like workflow combining STL decomposition and PELT change-point detection, complemented by a recent-decline detector. Species-level NDVI anomalies were cross-correlated with the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI-3/6/12) and vapour-pressure-deficit (VPD) anomalies, with autocorrelation-corrected significance testing. Spatial hotspots were identified through DBSCAN clustering.

A cumulated dieback signal of approximately 187,700 ha (20.1% of regional forest cover; 95% CI 155,500-221,600 ha) was identified. Cork oak showed the highest relative rate (41.4% of pure stands), while holm oak accounted for the largest absolute affected area (142,591 ha). SPEI-12 emerged as the strongest hydro-climatic correlate, with sensitivity inversely tracking mean stratum elevation: *Q. suber* ($r=+0.364$, lag 0) > *Q. rotundifolia* ($r=+0.306$, lag 1) > *C. atlantica* ($r=+0.259$, lag 1). VPD anomalies co-varied negatively with NDVI at lag 0 for all species. Sentinel-2 detected 18-26 percentage points more Atlas cedar mortality than Landsat over their shared 2017-2024 window.

The analysis contributes a reproducible baseline for regional forest management and a transferable analytical template for other Maghreb and Sahel regions where dieback dynamics remain poorly documented.

Keywords: Forest dieback, BFAST, SPEI, Landsat, Sentinel-2, Atlas cedar, cork oak.

TAXING THE RICH: AN ADVANTAGE TO CLOSE POVERTY OR A THREATENING ENVIRONMENT TO ENTREPRENEURS?

Saifan Hassan

Chatresh Danyl

Rishit Srivastava

United World Academy

Abstract

The taxation of the wealthiest 1% of a population is a widely debated economic and political issue. This essay examines whether imposing higher taxes on high-income individuals and wealthy asset holders is economically desirable for a country as a whole. Higher taxation of the rich can increase government revenue, which may be used to improve public healthcare, education, transportation, infrastructure, and welfare programs. It may also help reduce income inequality and lessen the financial burden on lower-income groups. However, higher taxation may also have disadvantages, including reduced incentives for entrepreneurship and investment, business relocation, tax avoidance, and the possibility of capital moving to countries with lower tax rates. Therefore, while progressive taxation can contribute to greater economic equality and stronger public services, its effectiveness depends on how taxation is designed and implemented. A balanced approach is necessary to ensure that governments can raise sufficient revenue without significantly discouraging investment, innovation, and economic growth.

Keywords: Financial Burden, Tax Avoidance, Economic Equality, Economic Growth.

FOOD INSECURITY IN NIGERIA: AN ANALYSIS OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE, ECONOMIC DEVELOPMENT AND CONFLICT ON FOOD SECURITY

DR. CHUKWUEMEKA G. EME

Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences,
National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi – Abuja, Nigeria

ABSTRACT

Food insecurity is a major problem in Nigeria. The Food and Agriculture Organization (FAO) estimates that Nigeria's food security has worsened in the past 15 years. This paper examines the impacts of different factors that jeopardize the Nigerian food security situation. According to previous literature, there are mostly three factors that affect food security; climate change, economic development and violent conflict. Nigeria is the chosen case study because all the above mentioned factors play a key role in the country; it is affected by climate change, the economy is fluctuating and there has been the Boko Haram insurgency going on since 2009. This paper aims, with the help of the concept of food security, to analyze these factors to see whether and to what extent they influence food insecurity in Nigeria. This paper uses a mixed-methods approach. Quantitative data are retrieved from several data-bases that give measurements on food security, climate change, economy, and conflict. Qualitative data are reports and interviews that were conducted with Nigerian NGOs. Cautious findings show that all three factors can lead to food insecurity and, therefore, can explain why there is food insecurity in Nigeria. Finally, this paper concludes and confirms the results of existing research in the case of Nigeria.

Key Words: *Food Security and Insecurity, Climate change, Economic development, Violent conflict, Nigeria*

1. INTRODUCTION

When food security issues were first highlighted in the 1970s, the question was whether a nation or a region could command enough food to meet the aggregate requirements of its people. Special attention was paid to fluctuations in aggregate food supply and food security interventions were primarily concerned with providing effective buffer mechanisms against such fluctuations. In this context, food security measures came to be identified with macro-level instruments such as national and international storage of food and balance-of-payments support for countries facing temporary food shortages (see Waldes, 2011).

Food security is a basic human need and fighting hunger is one of the greatest challenges of this country (Ojo and Adebayo, 2012: 204). Although the number of people living in hunger has declined for many years, in 2015 it has started to increase again (FAO et al. 2019). Today, two billion people in the world are still living in moderate or severe food insecurity, because they do not have regular access to food, not a necessary variety of nutritional value, or there is not enough food for the whole population available. 820 million of these two billion facing insecurity are living in hunger (FAO et al., 2019: 22). Particularly in developing countries, people cannot meet their nutritional needs (Oyinloye et al., 2018: 69).

It is an immensely discussed issue in our society and many scholars have studied the factors leading to food security with their direct and indirect impacts on food security (e.g. Berhanu and Wolde, 2019; Martin-Shields and Stojetz, 2019; Musenwa et al., 2015). Amongst

others, Misselhorn (2005) has compared different drivers and three key factors causing food insecurity: conflict, climate change, and economic development. As many scholars analyzed, these drivers often co-exist and influence each other. Only assessing a single factor influencing food insecurity is almost impossible and it is important to take confounding drivers into account.

The decline in the production of some of Nigeria's leading agricultural export commodities was most worrisome. For instance, Nigeria that was ranked as the world's leading producer and exporter of palm oil in the 1960s had become a net importer of this commodity in the mid-1970s. Similarly, Nigeria's cocoa production which ranked a peak of 305,000 tons in 1970 fell drastically to 160,000 tons in 1985 (CBN, 2004). The sharp down-turn in the gross value terms of trade in agriculture was equally serious.

The ratio of agricultural exports to food imports which stood at 147 per cent in 1970-1975 suffered significant deterioration and reached the lowest trough at 38 per cent by 1976-1982.

Today, Food security ranks the top most among the development problem facing Nigeria. The level of food insecurity has continued to rise steadily since 1986 to about 41% in 2004 (Sanusi, et al 2006). According to Barrett (2002), the lack of food excludes people to practice what other people are doing every time. However, large amount of food production in the world does not ensure any country's food security. Moreover, huge production in food at national level does not guarantee for the household food security. This may be due to unfair distribution of resources, variation in production functions, and motives for productivity. That is why even if the production increases through time, food insecurity, malnutrition and hunger remain the main agenda and much more serious problems in the world (Akume and Bakporhe, 2013).

1.1 Research Problem

A strong argument that encourages analyzing food security issues is the importance of food in our lives. There is evidence that climate change, economic development, and conflict affect food security negatively. For example, the Food and Agriculture Organization (FAO), International Fund for Agricultural Development, United Nations Children's Emergency Fund (UNICEF), World Food Program, and the World Health Organization have for the last three years published the report 'The State of Food Security and Nutrition in the World' that focused on conflict (FAO et al., 2017), climate change (FAO et al., 2018), and the economy as a driver of food insecurity (FAO et al., 2019). This shows that these factors are a global concern in today's world.

Nigeria is one of the most food insecure countries and highly affected by all three drivers. For one, the country is vulnerable to climate change and successively hit by environmental disasters, that impact people's livelihoods (Nkechi et al., 2017: 301). Furthermore, its economy is thriving, but around 48% of its population lives below the poverty line (World Bank, 2020; World Poverty Clock, 2020). In addition to that, since 2009 north-eastern Nigeria is struck by conflict, with the terrorist group Boko Haram involved. Due to that, Nigeria is suitable to use as a case study.

1.2 Aim and Research Question

Research that has been done on food security, has mostly focused on one driver, acknowledging others as compounding variables. Furthermore, many scholars have done a quantitative analysis. This paper analyzes different drivers for food insecurity in a single country analysis. It focuses on Nigeria, because as mentioned above, it is a food-deficit country and all three key drivers exist in the said country and can be analyzed. This leads to the following research questions:

➤ What factors impact food insecurity and jeopardize the food security situation in Nigeria?

The impact these drivers have on the food security situation in Nigeria is assessed in the paper. The analysis can be examined with the help of deductive research and a case study research design. To answer the research question, there are three sub-questions to be answered:

- What impact does climate change have on food security in Nigeria?
- What impact does Nigeria's economy have on its food security situation?
- What impact does the Boko Haram Insurgency have on food security in Nigeria?

1.3 Organization of the Study

After this introductory section, the next section elaborates on the literature review comprising of background information on climate change in Nigeria, Nigeria's economy, and Boko Haram terrorist group and a review of previous literature which shows what scholars found on the different drivers impacting food security. This section also illustrates the concept of food security as used in this paper. The next section describes the research design and also analyzed the data collected from the field. Finally, a conclusion, recommendations and a roadmap for further research in related area were highlighted.

2.0 LITERATURE REVIEW

2.1 Background

The Federal Government of Nigeria is a culturally and religiously multifaceted country located in West Africa. It consists of 36 states and a capital territory. With approximately 201 Million, it is the most populated country in Africa, and its population is growing rapidly (World Poverty Clock, 2019). Nigeria declared its independence from Great Britain in 1960. After going through years of military junta, the country held its first democratic elections in 1999. Since then it has been on stable democracy with a lot of corruption and struggles to fight terrorism (Kah, 2017; World Bank, 2016). This section gives a background on Nigeria's economic sector, climate change in Nigeria, and the Boko Haram insurgency.

2.1.1 Economic Development

Today, Nigeria has a key role in Africa's economy with a large natural resource reservoir. It is a founding member of the African Union and an important, influential member of the Economic Community of West African States (ECOWAS).

Nigeria's biggest economic sector is the oil industry. With exporting, these natural resources, its economic growth depends largely on the world market and world oil prices (World Bank, 2020). Another important, but smaller sector, that has been contributing to Nigeria's economic growth is agriculture. Agriculture is the income for many Nigerians. The Nigerian Government operates on an agriculture strategy to achieve the first two goals of the sustainable development goals, reducing hunger and poverty, by for example bringing private

sectors to invest in agriculture, building institutions in rural areas and developing the infrastructure all over the country (Obi et al., 2020: 208; World Bank, 2020). The Nigerian government has started with its intense oil trade under British rule and as a result, neglected agriculture as an important economic sector when the oil industry got bigger and they invested more in oil exploration, however at the moment they are working on reinvesting in this sector (Ojo & Adebayo, 2012: 205; Babu, 2018: 113-114).

Despite being an overall rich country with oil assets, Nigeria's economy has not created many more job opportunities and only a few people benefit from the GDP growth (World Bank, 2019: 20). About 96 million people, 48% of the population suffered from extreme poverty (Otekunrin et al., 2019: 4-5; World Poverty Clock, 2020). Since the population is growing rapidly and the percentage of people living in poverty is only slightly changing, the absolute number of people living in poverty is increasing as well, which causes even more people to suffer from food insecurity (Ugwoke et al., 2020: 1).

While poverty in the South has been decreasing over the years, it has been increasing in the North, especially the North East, because the region is developing less than the South (Ugwoke et al., 2020: 1). The poverty level is more than 50% higher in the North than in the South. Oil reserves are in the South and the economy in the Northeast and the cultivation of land is mostly done in rural areas in the North (Otekunrin et al., 2019: 6).

2.1.2 Climate Change in Nigeria

Climate change is a global issue that affects every country. Nigeria is amongst most sub-Saharan states vulnerable to the impacts of environmental problems. Throughout the years, environmental disasters have become more frequent. In 2012, for example, there was one of the worst floods in Nigeria in 40 years. This led to the loss of many lives, displacement of people, and farmlands being washed away (Nkechi et al., 2017: 301). Nevertheless, climate change does not affect all states the same. Nigeria has four semi-arid savannah climate in the middle belt and parts of the southwest' (Akande et al., 2017).

Desertification as well as too much rainfall can lead to changes in cultivation and displacement of people. Therefore, the whole country is hit by climatic change. All in all, there is evidence that climate change will worsen Nigeria's environment in the future (World Bank, 2016: 49; Abdulkadir, 2017; FAO, 2017).

2.1.3 Development of the Boko Haram terrorist organization

Jama' atul Ahlis Sunna Lidda 'awati Wal-Jihad, commonly known as Boko Haram and in this study referred to as Boko Haram is an Islamic territorial terrorist organization in Nigeria. They do not only aim for territories but also want to destroy the current Nigerian political system in said area to establish their political and religious ideology. They do this through attacks on humans and public facilities as well as the destruction of infrastructure and economic development (ICC, 2014: 4; Adelaja and George, 2019: 185-186).

The group was established between 2002 and 2003 in northeastern Nigeria, where contrary to the south, most of the population is Muslim. Boko Haram has surfaced in 2003 when they attacked police stations and public buildings in the northeastern Yobe State. The buildings were occupied for some days and the group demonstrated its sympathy with Afghanistan's Taliban (Pham, 2016: 3).

Until Nigerian authorities captured and killed their leader Mohammed Yusuf in 2009 they were quite unknown, their attacks were small and simple. Yusuf wanted an Islamic government

but achieving that politically in a nonviolent way (ICC, 2014: 9). They turned to the Al-Qaeda in the Islamic Maghreb (AQIM) terrorist group, got support mainly with financial aid, by AQIM'S leader and became a jihadist terrorist group. One attack, that gave Boko Haram international attention, was suicide attack on a United Nations (UN) compound in Abuja in 2011 (Pham, 2016: 6).

Since the summer of 2009, northeastern Nigeria has struggled with numerous terrorist attacks, many of them suicide attacks, regularly, aiming against the Nigerian government and its democracy. The three northeastern states, Adamawa, Borno, and Yobe have a majority of Muslims and were targeted most. Other states were also hit, but they also dealt with people fleeing from the conflict, that they took local government resources and budgets away (Adelaja and George, 2019: 3).

Boko Haram aims to destruct selectively. They destroy assets, infrastructure, and agriculture. At the same time, they attack government storage facilities, fertilizer factories, agricultural input, transport systems and farms' (Adelaja and George, 2019: 185), which they attack for their use and survival.

In 2012 the group got more power and became internationally recognized as a militant group that can build and use bombs. Boko Haram built an international network with other African Islamic groups and was able to expand to the neighboring countries, Niger and Cameroon. The militants attacked prisons to release the prisoners, destroyed government buildings, hospitals, and burned down schools, forcing students out of education. By mid-2013 Boko Haram has controlled several local governments, having de facto authorities in these regions. In 2014 the Boko Haram insurgency hit its height. In the first half of the year, they killed at least 2053 civilians in numerous locations, almost daily attacks on marketplaces, churches, and residential areas. One of the most infamous attack was the kidnapping of 2776 girls (Chibok girls) in a school in Borno state (Human Rights Watch, 2014). In mid-2014, the fighters had enough money and resources to go into offense, executing people in public and expand successively. By then they were able to occupy approximately 26-27 local governments. Most of the occupied regions were in a rural area, where agriculture is the livelihood of the population, hereby agricultural land was destroyed (Pham, 2016: 9-10; Adelaja and George, 2019: 186).

In 2015 Boko Haram showed weakness and the Nigerian army and government reclaimed the zones that were taken over. Nigeria declared victory over Boko Haram quickly. The group has had internal struggles and spilt into two factions. One faction pledged allegiance to the Islamic State (IS), turning into the Islamic West Africa Province (BBC, 2015; Anao, 2020). The number of attacks and fatalities has dropped, but in 2017, now being two groups, attacks have gone up again and the Nigerian government is continuously challenged (ACLED, 2019a; Anao, 2020: 7).

2.2 Conceptual and Empirical Framework

2.2.1 Climate change as a driver of food insecurity

Climate change is defined as any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity' (IPCC 2001: 2). Climate change has turned into a global issue and has worsened in recent times.

It is now considered a climate crisis and threatens the agricultural production due to higher and more inconsistent temperatures as well as the variation in rainfall patterns and extreme events, such as droughts and floods, occurring more often (Ojo and Adebayo, 2012: 211; Ogbo et al., 2013: 221). With this change, researchers decided to study the relationship between climate change and food security. Studies were done concerning one single country, several countries, or simply regions. Most of the research has been conducted through surveys, direct observation, and weather data. They often use a modeling approach, because they often predicted future scenarios (Zewdie, 2014; Berhanu and Wolde, 2019; Wossen et al., 2018; Fadjumdjum et al. 2019). Researchers agree upon several impacts that climate change already has or will have on food security: on the cultivation and crop yields, as well as on biodiversity.

Climate change affects the first aspect of the food supply chain most. Food production starts with crop growth and cultivation. These are strongly affected by climate variability and therefore especially the agricultural sector is hit by climate change (Jung and Kunstmann, 2007; Wossen and Berger, 2015). In Iran for example impacts, the decline of water resources and precipitation, warmer temperature, and higher CO₂ emissions will have on crop growth and food production. Their findings were similar to the majority of research on food security that: food production depends on a steady climate and enough clean water resources.

Aside from food production, climate change also restrains people from having food available and access to it. Extreme weather events can damage food storage. When it gets warmer, air conditioning and refrigeration is needed, which can get expensive, and sometimes there are problems with electricity. If it does not work, the harvested food get expensive, and sometimes there get ruined or no longer be healthy to eat (FAO, 2008; James, 2010). Even though most researchers argue that climate change negatively affects agriculture, some studies have found a positive correlation between global warming and agriculture. This research focused on industrial countries and less on developing countries.

Climate change also forces people to leave their homes, which makes them vulnerable to food insecurity. Internally displaced persons (IDPs) are often forced to leave because of climate change and conflict, two of the three drivers reviewed here.

McGregor (1994) addressed the nexus of climate change, forced migration, and food insecurity because already in 1994 there have been many involuntary population displacements due to climate change. Food is one of the most vital needs in displacement camps, where a lot of the IDPs have to live in for many years. They have limited access to it and because they mostly depend on aid that is not always given and most likely they are not able to consume the amount and diversity needed. Thus, they increase food insecurity in a country (McGregor, 1994; Mooney, 2015).

As this section shows, climate change affects food security in various ways. It mostly affects people's livelihoods through food production, people live food insecure because there is less food available or the available food does not have enough nutrients. This leads to people not being able to access food. Most researchers asserted that climate change led to food insecurity. Therefore, it is worth it to explore how climate change has led to food insecurity in Nigeria.

2.2.2 Economic development as a driver of food insecurity

Previous literature suggests that the economy influences food security. Economic growth is one of the highest variables to measure the economy and can be closely connected to food security. Studies by several scholars provide proof that the better the economic growth is, the more

people are likely to be food secure (Warr, 2014). Hence a weak economy or an economic crisis can lead to food insecurity in a country (Tawodzera, 2011; Musenwa, 2015; FAO et al., 2019). Most research has been conducted in developing countries in Africa because especially developing countries might have thriving economic growth, but at the same time are vulnerable to an economic crisis, because they are often low-income countries, countries in conflict and the countries that are hit most by climate change. All this increases the vulnerability of a population (FAO, 2019: 59).

For the food security status of a household, the economic situation of the individual is significant as well. Many researchers analyzed factors in the field of economic development and food security. Being unemployed puts people into poverty and poor people usually depend on the market to obtain food.

They spend a higher percentage of their income on food and consequently suffer more likely from food insecurity (Etana and Tolossa, 2017: 64). A lot of other literature argues that unemployment, in particular long-term unemployment, does not only result in people spending less money on food but also causes people to change their diet. Evidence showed that they bought cheaper and less healthy food, which in turn impacted the quality of the daily calorie intake. Other studies also found that consumption pattern change when one gets unemployed (Leichchenko and Silva, 2014: 540). Therefore, unemployment can lead to food insecurity on the individual level.

Food prices are another indicator leading to insecurity (Herte et al., 2010; Smith et al., 2017). Global food price drops or rises hit especially countries with an uneven trade balance. When a country depends on exporting agricultural goods or minerals, they are more vulnerable to global price volatility (FAO, 2019: 66).

As mentioned above, most scholars argue that often developing countries are affected by economic crisis. However, all countries can be affected by a sudden global economic shock. Especially the 2008 financial crisis and the recession that followed negatively impacted several countries in the Global North. Davis and Geiger (2017) analyzed the demand for food aid in Europe after 2008. They argue that the need for more food aid represents higher food insecurity. They found that a rise in food aid and led to a more food insecurity after 2008. Griffith et al. (2013) have, on the other hand, examined the food expenditure of people in the UK and concluded that after 2008 there was a significant change in what people bought. Further studies have also shown identical results in studies covering developing countries (Browning and Crossley, 2009; Huang et al. 2016). The economic situation of people affects their state of food security. Hence it does not matter whether a country is in the Global North or Global South, an economic crisis can hit every country.

2.2.3 Violent conflict as a driver of food insecurity

The FAO (2017) has asserted that conflict-affected countries have on average higher rates of food insecure people than countries not affected by conflicts. Violent conflicts can have short-livelihoods.

There are several ways where violent conflicts affects food security. However at first, it has to be mentioned that the effect conflict has on food security depends on what kind of conflict it is,

considering that ‘measuring and categorizing conflict is not straightforward’ (Martin-Shields and Stojetz, 2019: 151). Studies showed that the outcome depends on the type of conflict.

Literature shows that conflict often occurs in rural areas, areas that have a lot of agriculture (FAO, 2017: 44). Consequently, violent conflict can especially impact agricultural production. On the other hand, food production can decrease. Cultivation is interrupted, where people depend on agriculture. Often fields were ruined by bombs, or it was simply unsafe to work on them (Baumann and Kuemmerle, 2016). Other times farmers abandoned their lands because farmers or workers were killed, people were forced to leave, fled voluntarily, or were involved in the fighting. This can lead to a labor shortage and therefore fewer people harvesting which then can lead to crop yield loss and food insecurity (Suthakar and Bur, 2008; Eklund, et al., 2016; Adelaja et al., 2019: 184). On the other hand, agricultural productivity can increase and have a positive impact on the food security situation in conflict areas. Agriculture can be an important income source for the militants. Jaafar and Woerz (2016) analyzed the agricultural productivity of the Islamic State in their controlled area until 2016. Their findings were that it is an important source of domestic food security.

Whereas the scholars above agreed that conflict impacts food security, Adelaja and George (2019) came to different findings. Their focus was also not on food security at all. They collected data from household surveys and the Armed Conflict Location & Event Data Project (ACLED). When analyzing the data, they found that the amount of land that can be harvested does not decrease when the number of attacks goes up. Although at the same time they did find that a higher intensity of the conflict harms the output of agriculture (Adelaja and George, 2019).

Food access to households and individual food consumption has also been researched by people. A reduced production can lead to a decline in food availability which can cause a reduction in market access to buyers. An example of long-term impacts of food insecurity due to a conflict are studies that focused on the long-term effect of children that were exposed to conflict at an early age (Martin-Shields and Stojetz, 2019; George et al., 2020).

The researchers often used the differences-in-differences approach. They analyzed one region where conflict occurred and one where there was no conflict and compared the results. Bundervoet et al. (2007), for example, studied the impact of the civil war in Burundi on children’s nutritional status over time. They used data from household surveys in civil war affected and non-affected areas. According to their study, children that were born in regions that at the time of birth experienced violence and had no access to food, due to the disruption of the agricultural production, had lower height-for-age z-score (HAZ) and were therefore not developing the same way as other children. Minoiu and Shemyakina (2014), as well as Arcand et al. (2015), based their research on Bundervoet et al. and did similar studies in Cote d’Ivoire and Angola. With the same approach, their findings are similar: Children who were exposed to these conflicts while born or in their early childhood had a lower HAZ than others.

Lastly, other scholars focused on the impact on IDPs. As above mentioned, conflict can lead to people fleeing and as noted, they are especially vulnerable to food insecurity. The outcomes are the same as when there are IDPs due to climate change. However, these scholars show that not only climate change can lead to internal displacements, also conflict can be a reason (Tasime et al., 2013).

As this section demonstrates, violent conflict can impact food security directly and indirectly. Direct impacts are mostly on the national level and indirect impacts mainly on the individual level. For example, as the prior section of economic development on food security shows, unemployment, and reduced household expenditure can impact the household at individual level, although not every scholar supports this, it can be said that conflict can have an impact on all different levels of food security.

The literature review shows that these different drivers can lead to food insecurity but are also intertwined. Despite the wealth of literature and the diversity of studies, there is rarely literature disagreeing with the fact that these drivers impact food security in some way. Most scholars argue that the drivers they analyzed lead to food insecurity, but they also state that other drivers have to be acknowledged as interfering variables. They overall agree that each of the drivers can lead to food insecurity, in different parts more than in others. Therefore, when all the drivers are occurring in one country, this country's population is more likely to be severely food insecure.

3. Methodology

This study adopted a mixed-methods approach, that is qualitative and quantitative methods approach. Quantitative data were retrieved from several data-bases that give measurements on food security, climate change, economy and conflict. Qualitative data were drawn from reports and interviews that were conducted with Nigerian NGOs.

The statistical data on the climate is retrieved from the Climate Change Knowledge Portal, which is part of the World Bank Group. Even though they do offer metadata information, it is not exactly clear where data come from. As per economic development, the secondary data is taken from two different sources: The World Bank and UN Contrade Database. The World Bank shows a pool of statistics covering several areas from many different sources. This database is publicly accessible and is updated regularly. The indicators itself do not only come from the World Bank. The metadata with its source for every single indicator can be downloaded on their website. Concerning violent conflict, the primary data utilized is interview method. Other methods of data analysis include the ACLED database, and IDMC sources.

4. Analysis

The following chapter shows the analysis of the study. With the help of all the data described in the previous sections, this section analyzes the said data. Previous scholars mostly approached their articles by first conceptualizing and analyzing food security (e.g. Martin-Shields and Stojetz, 2019). Here it also seems appropriate to analyze the food security situation using the three drivers as already stated.

4.1 Food security situation in Nigeria

As shown and explained in previous sections, food security in Nigeria is analyzed through data from FAO database, the Nigerian GHS as well as interviews. This section shows evidence that there is a significant amount of people facing food insecurity in Nigeria.

All conducted interviews with the NGOs have agreed that food insecurity is visible all over the country. According to all of them, the food security situation worsened over the past years. They mentioned that since the Covid-19 outbreak it has gotten even worse and it will not get better in the next few years, but there are no evidential facts about it yet.

Using both figure 1.1 1.2 and a graph, figure 1.1 shows how food security has changed over time. Each measuring period has been conducting its data in the same way and can therefore, be compared. It indicates that there has been quite a change since around 2008. As shown in the figure from 2008-2010 the percentage of undernourishment has been constantly on the rise. At first, it is slowly rising, but looking at the years from 2014-2016 and 2015-2017, there was a drastic rise, with an increase of almost two percent from 9.6% in 2014-2016 to 11.5% in 2015-2017 and after this again another two percent to 13.4% in 2016-2018. Due to the fact that these numbers are always only a three-year average, it can be said that 2014-2016 was another significant turning point in the Nigerian food security situation.

4.1.1 Climate Change data

As much of the literature shows, climate change is one of the causes of food insecurity, and is therefore an independent variable to analyze. To answer the sub-question on what impact climate change has on food security in Nigeria, data that shows the trend in climate variability seems appropriate. This can be the trend of rainfall, the occurrence of rain and drought days, or mean temperatures. Descriptive data that is available on trends in climate variability is the trend of yearly mean temperature and rainfall pattern. Further data that can help get to the connection to food insecurity is data on internal displacement which shows how many people fled due to climate change. Further indicators used in the analysis are the interviews. Interviewees were asked about the experience of monthly rainfall change and droughts affecting cultivation. Secondly, the United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) publishes situation reports that give information about certain strong floods and its impact on people's livelihoods in the areas hit.

4.1.2 Economic Development Data

Previous literature argues that whether somebody lives in food security is often also influenced by the countries' current economic performance. Thus, economic development can be a catalyzer for food insecurity and is one of the three independent variables in this study. To analyze the economic development as a cause for food security situation, data has to provide information about the economy in Nigeria and must be compatible with the given food security data.

The economy can be measured through multiple indicators. In general, the GDP can be a relevant summary of the overall economic performance (FAO, 2019). Therefore, GDP and economic growth are the first indicators to use in the analysis. Further indicators to understand the economic situation in Nigeria and how it has evolved across time are the trade balance and products that are predominantly exported. Moreover, food inflation and the unemployment rate are used as secondary data, qualitative data and primary source, that contributes to the analysis are the interviews.

4.1.3 Violent Conflict Data

According to existing literature, the presence of conflict plays an important role in how food insecure somebody is. Thus, a third independent variable chosen to analyze in this study is the

Boko Haram conflict in Northeast Nigeria. To measure the food security situation in Nigeria and its relation to the northeastern conflict, especially interviews are good as a primary source. To get statistical data that can be compared to the FAO and Nigerian GHS data is data about the number of conflict and the fatalities that happened over the years since the Boko Haram insurgency began. As Adelaja and George (2019) state in their study that longitudinal data for comparison is limited. I found that this is true and it was difficult to get the right data for this analysis.

However, there are several databases available that measure conflicts. Previous literature that used quantitative data usually either worked with the UCDP or ACLED.

After consideration of what database is best to the Boko Haram Insurgency, ACLED was chosen. This database offers information on different kinds of violence in real time, broken down into the date and place of the event, the type of violence and the actors involved (ACLED, 2019). Including the exact source for each for each event and even quotes the source to show that it was precisely taken from there.

According to ACLED, their data is collected by experienced researchers. However, it is primarily taken from secondary sources, but to make sure that the data is accurate and not biased, ACLED uses a variety of sources and does not only trust one source.

5. Conclusion

The study aimed to answer the question: What factors impact food insecurity and jeopardize the food security situation in Nigeria? To answer this, the whole study was focusing on the three factors that, according to previous literature, seemed to influence food security the most: climate change, economic development, and violent conflict. The concept of food security with its four dimensions was the concept often used in the existing literature and previous research showed that each of the drivers influences the different dimensions in some way. The findings demonstrated that these factors can in fact, lead to food insecurity.

The analysis of this study examined these determinants to see how they influence food security and whether they lead to food insecurity in Nigeria. Data was taken from several sources, statistical databases as secondary sources and interviews with NGOs as primary sources. Since the data was rare, the conclusions had to be drawn cautiously. The results of this analysis, however, do confirm the findings in previous research.

According to previous literature, the drivers are intertwined and do not only affect food security, but also impact each other. This study has also found that it cannot be said that either of the drivers alone could have led to food insecurity in Nigeria. In this case It is also more likely that they all influence each other.

Climate change and the Boko Haram conflict for example can lead to a lack of food production, which can lead to fewer labor needs, that on the one hand leads to unemployment, then again makes it hard for people to buy food, then facing a food shortage. On the other hand, less food production can lead to more dependence on food imports. A bad economy again can lead to more conflict and so on. It can be said that Nigeria is currently in a vicious circle and it is hard to achieve stable food security. Because Nigeria is affected by all three drivers, it is likely that food insecurity occurs, with what the literature review agrees.

Therefore, the research question can be answered by saying that all three different determinants can jeopardize the food security situation in Nigeria. Furthermore, they all impact

people's livelihoods in different years, keeping some people continuously in a state of food insecurity. Moreover, the study found that even though all drivers impact all dimensions of the food security concept, they do influence each of them in other ways. While, according to this study's findings, climate change and the Boko Haram insurgency primarily impact food availability, the economy affects the food access dimension foremost. Especially the interviews have brought the focus on food production in general, meaning that the food availability dimension is often the first dimension that is hit. When there is less food available, and a country depends on food imports, it can lead to a lack of the other dimensions, meaning to many people not having access to food or not having enough food diversity. Because all drivers impact the different dimensions, the last dimension of food security is not met. There is no food stability, and it takes time to achieve the dimensions.

This study also shows that food security depends not only on how a country, specifically Nigeria performs, but also how other countries deal with issues that can reflect back to a country like Nigeria. Globalization has made it hard for such a country to achieve food security by itself.

References

- Abdulkadir, A; Maryam Lawal A. and Mohammed, T. I. (2017).** 'Climate change and its Implications on human existence in Nigeria: a review'. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, (10:2), pp. 152-158.
- ACLED (2019).** Journal of Conflict Location & Event DATA Project (ACLED): User Quick Guide
- ACLED (2019a).** ACLED Methodology for Coding Boko Haram Factions. Online: [http://acled](http://acled.data.com/acledatanew/wp-content/uploads/dlm-uploads/2019/01/ACLED)
- Adelaja, A and George, J. (2019).** 'Effects of coding on agriculture: Evidence from the Boko Haram insurgency'. World Development, (117), pp. 184 – 195.
- Amao, O. (2020).** 'A decade of terror revisiting Nigeria's interminable Boko Haram Insurgency'. Security Journal (33:1), pp. 1-19.
- Arcand, J. L., Rodella, A. S. and Reger, M. (2015).** 'The Impact of Land Mines on Child Health: Evidence from Angola'. Economic Development and Cultural Change. (63:2), pp. 249- 279.
- CCKP (2018).** Methodology of the climate change knowledge portal. Online: <http://climateknowledgeportal.worldbank.org/themes/custom/wb-cckp/t->
- Ekland, L., Pearson, A., and Plesjo, P. (2016).** 'Conpland changes in times of conflict, reconstruction, and economic development in Iraqi Kardistan', Ambio, (45), pp. 78-88
- FAO (2008).** Climate Change and Food Security: A Framework Document (Rome; FAO).
- FAO (2009).** Declaration of the World Food Summit on Food Security (Rome: FAO).
- FAO (2017).** Northeastern Nigeria: Situation Report- January 2017. Online: <http://www.fao.Org/fileadmin/user-upload/FAO-countries/Nigeria/ToR/FAO-Situation-Report-Northeastern-Nigeria-January-2017pdf> (Last accessed: 31/03/2020).
- George, J., Adelaja, A. and Weatherspoon, D. (2020).** 'Armed Conflicts and Food Insecurity: Evidence from Boko Haram's Attacks'. American Journal of Agricultural Economics, (102;1), pp. 114-131.

Hertel, T. W., and Rosch, S. D. (2010). ‘Climate change, agriculture, and poverty’, *Applied Economic Perspectives and Policy*, (1:3), pp. 355-385.

IPCC (2001). ‘Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to

The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge: Cambridge University Press).

Kah, H. K. (2017). ‘Boko Haram is Losing, but so is Food Production: Conflict and Food Insecurity in Nigeria and Cameroon’, *African Development*, (42:3), pp. 177-196.

McGregor, J. (1994). ‘Climate change and involuntary migration: Implications for food security’. *Food Policy*, (19:2), pp. 120-132.

CLIMATE CHANGE AND ITS EFFECTS ON THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF NIGERIA

DR. CHUKWUEMEKA GODSON EME, PhD

Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences,
National Open University of Nigeria, Jabi- Abuja, Nigeria

Abstract

Climate change has become a great challenge to our generation and its impact is felt in almost every society in the world. Nigeria is likely to be the one of the most negatively impacted countries in the world as a result of climate change. Nigeria is plagued with many ecological problems of various dimensions. Whilst the people living in the southern part of the country are being ravaged by flood and gully erosion, their counterparts in the north are contending with the menace of desertification, deforestation and drought, among others. These environmental challenges have direct and indirect effects on the social and economic activities of the societies. The paper reviews the potential impact of climate change on Nigeria's economic and socio-cultural developments. Secondary data were used and descriptive research design was adopted. The findings indicates that many sectors of the Nigerian economy appears to be directly vulnerable to the impacts of climate change such as manufacturing, insurance, transportation, offshore oil and gas exploration and thermal and hydro-power generation and transmission. Other vulnerable sectors are those dependent on climate-sensitive resources like agriculture, fishing, forestry, renewable energy and eco-tourism. These cumulative effects will impact the GDP negatively. On the basis of the findings, the following were recommended; there should be policies toward mitigation and toward developing technology that can improve productivity and are environmentally friendly, irrigation should be encouraged, NIMET should be well equip to enable it function effectively, government agencies and NGO should sensitize the people about the danger and had to work towards a sustainable environment.

Key Words: Climate change, Global warming, Economic development, Sustainable development, Nigeria

1. Introduction

Climate change has become a great challenge to our generation and its impact is felt in almost every society in the world. Nigeria as a developing country with a population of about 160 million is likely to be adversely impacted by climate change due to the vulnerability and low coping capability. Evidences have shown that climate change impacts on Nigeria arises from various climate change related causes experienced due to the increase in temperature, rainfall, sea level rise, impact on fresh water resources, extreme weather events, flooding, drought in the north and increased health risk.

Climate change is an interminable environmental threat of the 21st century which the world is currently experiencing and seeking measures to adopt and mitigate its impact. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) defines climate change as a change which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere over comparable time periods. Climate change is wreaking havoc on the economies of several individuals, societies, and countries, including Nigeria. This has detrimental effect on a huge number of farmlands and the means of sustenance of persons, increasing poverty and leading to food insecurity, migration, conflicts and public health

concerns. As poverty becomes severe, the poor become more reliant on unsustainable development strategies. Thus, unsustainable development strategies such as fossil fuels add to global warming. Global warming therefore exacerbates problems in underdeveloped countries, particularly in sub-Saharan Africa, which lacks the capacity to adapt to climate change. As greenhouse gas emissions cover the Earth, they trap the sun's heat, causing it to warm at an unprecedented rate; hence, global warming and climate change occur.

As one of the most pressing environmental challenges and global crisis affecting civilization today, climate change is becoming a significant global concern, particularly in Africa and Nigeria, where rain-fed agriculture is used. One fossil-fuel-based economic system has been altering the world for many years. Sub-Saharan Africa, in general, and Nigeria, in particular, have been recognized as the region most likely to be affected by climate change, including increasing heat, erratic rainfall and natural catastrophes, as a result of global warming. The failure of the international leaders' meeting in Copenhagen to enhance aspirations for a healthy climate saddened the region.

The gathering, a worldwide meeting held in December 2009 to assess progress toward the 1997 Kyoto Protocol's aim and design a new direction for addressing climate change challenges, did not yield a satisfactory result (Muller, 2010). Co₂ emissions and the building of greenhouse gases in the atmosphere have changed weather and climate patterns; sadly, those responsible for climate change are rarely held accountable. Climate change has been exacerbated by traditional agriculture practices such as deforestation (tree felling for firewood and cooking energy) and bush burning as a farming practice.

Despite the fact that man and nature are closely linked, growing industrialization has accelerated the carbonization of the biosphere, leaving mother Earth with a negative carbon imprint that is redefining our symbolic relationship with nature. The issue of slow accumulation of dangerous gases in the atmosphere is central to the issue of anthropogenic carbonization of the biosphere and the bio-geophysical interests of world powers, which influence the nature and extent of all socioeconomic and political interactions on climate change (Sadiq, 2013).

Nigeria is vulnerable to climate change. Under the A2 Scenario of the Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC's) Emissions Report (National Adaptation Strategy and Plan of Action on Climate Change for Nigeria (NASPA-CCN, 2011), it is projected that Nigeria will experience a temperature increase of 0.04 °C per year from 1981/2000 until the 2046/2065 period, rising to 0.08 °C per year after 2060. The scenario also projects wetter conditions in the southern part. The drier conditions are expected to be most severe in the north-eastern part of the country. For the 2046/2065 period, rainfall is projected to increase by an average of 15 on annually rate of 7.5 cm annually in the north (NASPA-CCN 2011: 10). Increased climatic risks, notably floods and droughts, are typically the result, wreaking havoc on food supplies and the economy. Climate change and global warming would wreak havoc on Nigerian livelihoods, including crop production, livestock production, fisheries, forests, and post-harvest activities, if they go uncontrolled.

The impact of these changes, therefore without adaptation could cost between 6% of Nigeria's GDP by 2050, amounting to between USD 100 billion and USD 200 billion. The government has put in place N460 billion to enable them fight the menace of climate change and global warming (Department for International Development (DFID, 2009: 10).

1.1 Objective of the Study

The main objective of this study is to examine climate change in Nigeria, looking at its impact on the socio-economic and cultural sustainable developments of Nigeria. Others include, examining climate governance and policies as response to climate change in Nigeria.

1.2 Methodology

The research adopted a descriptive research design. It dealt exhaustively on the impact of climate change on Nigeria's socio-economic and cultural development. The research made extensive use of secondary sources of data from textbooks, internet sources and newspapers.

2.0 Conceptual Clarifications

2.1.1 Concept of Climate Change

There are many different ways to measure climate change. The International Panel on Climate Change says that it's a 'change in the state of the climate' that can be found by looking at how its properties change over time, usually for decades or more. Any change in temperature over time, whether caused by natural variability or human activity, is called climate change. 'Climate change is defined as "a change in the climate that is caused by human activity and that is in addition to natural climate variability that has occurred over the same time periods"' (United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC, in IPCC, 2007). 'A change in the statistical distribution of weather over long periods of time is called "climate change"'. Wikipedia says that "climate change" is a change in the weather over a long period of time (Wikipedia, 2009). Wikipedia (2009) says that global warming is "the rise in the average temperature of the Earth's surface, air, and oceans since the mid-20th century and its expected continuation". This makes it clear that what is called climate change is actually the result of global warming. Climate change is a problem or phenomenon that has come about because there has been a high rise in the concentration of greenhouse gases (GHGs) made by humans (Spore, 2008). Natural resource depletion, ozone layer depletion, and global warming are some of the most important things about climate change.

These traits are more self-reinforcing than other traits. A big problem in Africa when it comes to climate change is how many different stressors, like HIV/AIDS spreading and the effects of economic globalization and resource privatization, work together with climate change to make things worse.

Climate change has arisen as a new component, contributing to increased underdevelopment. There's a danger that Nigeria's climate change crisis may be exacerbated by the lack of a robust emergency and development policy, further complicating problems and increasing dependency and underdevelopment. Thus, the subject of climate change in Nigeria must be viewed in conjunction with developmental challenges, poverty, and unemployment. Nigeria has been seen as a weak, fragile state that has failed to put in place strong systems to help its citizens who have been affected by global economic woes. Every aspect of development in Nigeria is vulnerable to climate-related stressors. Nigeria's natural capital, including land, forests, landscapes, water and fisheries) and physical capital, including cities, infrastructure, and other kinds of capital are highly susceptible to the impact of climate change. Climate change affects the ability of natural capital, which is the main source of income and livelihoods for majority of Nigerians, to deliver its wide range of products and services including food, timber, and the regulation of water cycle. It's worth highlighting for instance, that economic fights are

inextricably linked to social and environmental aspects of man's interaction with the climate system (Edeh, Eme and Nnoli, 2014).

2.1.2 Concept of Global Warming

The continuous rise in temperature of the planet is really upsetting. The root cause for this is global warming. Global warming begins when sunlight reaches the Earth. The clouds, atmospheric particles, reflective ground surfaces, and surface of oceans then sends back about 30% of sunlight back into the space, whilst the remaining is absorbed by oceans, air and land. This consequently heats up the surface of the planet and atmosphere, making life feasible. As the Earth warms up, this solar energy is radiated by thermal radiation and infrared rays, propagating directly out to space, thereby cooling the Earth. However, some of the outgoing radiation is re-absorbed by carbon dioxide, water vapour, ozone, methane and other gases in the atmosphere and is radiated back to the surface of the Earth.

These gases are commonly known as greenhouse gases due to their heat-tripping capacity. It must be noted that re-absorption process is actually good as the Earth's average surface temperature would be very cold if there was no resistance of greenhouse gases. The dilemma began when the concentration of greenhouse gases in the atmosphere was artificially increased by humankind at an alarming rate since the past two centuries. As of 2004, over 8 billion tons of carbon dioxide was pumped, thermal radiation is further hindered by increased levels of greenhouse gases resulting in a phenomenon known as human enhanced global warming effect. Recent observations regarding global warming have sustained the theory that it is indeed a human enhanced greenhouse effect that is causing the planet to heat up. The planet has experienced the largest increase in surface temperature over the last 100 years. Between 1906 and 2006, the Earth's average surface temperature augmented between 0.6 to 0.9 degrees Celsius. Millions of pounds of methane gas are generated in landfills and agricultural decomposition of biomass and animal manure. Nitrous oxide is released into the atmosphere by various nitrogen-based fertilizers including area and diammonium phosphate and other soil management utilizations. Once released, these greenhouse gases stay in the atmosphere for decades or even longer. According to Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), carbon dioxide and methane levels increased by 35% and 148% since the industrial revolution of 1750.

2.1.3 Impact of Climate Change on the socio-economic development of Nigeria

Climate change has been described as a statistical variation that persists for an extended period, typically for a decade or longer. I includes shift in the frequency and magnitude sporadic weather events as well as the slow but continuous rise in global average surface temperature (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001). The German advisory council on climate change noted that climate is a threat already having substantial impact on human beings and the natural eco-system both in developed and developing countries but at varying degrees (German Advisory Council on Global Change (WBGU, 2003). For the developed countries, the impact of climate change has been perceived to be less severe due to natural advantage, high adaptation techniques, high technology, mechanical agricultural system and wealth status.

These factors have enabled the developed economies to curtail the adverse effects of climate change.

For developing countries like Nigeria, the impact of climate change is of great importance given the high temperature level, poor adaptation capacity and lack of early warning system. Apart from the above, climate change affects economies whose economic activities are natural resource sensitive such as agricultural activities. Unfortunately, some aspects of the existing literature shows that climate change may lead to significant reductions in agricultural productivity in developing countries (McGungan et al., 2002). Indeed, the effect of climate change on agricultural activities can be viewed from various aspects. Climate change affects the distribution of rainfall and temperature during a year and this determines crop yields especially those crops cultivated under rain-fed conditions (Thurlow et al., 2009). Excessive rainfall leads to destruction of arable land, impairment of cultivated crops, increased growth of weeds and greater post-harvest loss while a significant reduction in rainfall may culminate in drier land, reduction in water level in streams and rivers, increase in farmers' search for water for irrigation and consequently resulting in invaluable man hour losses and reductions in crop yield (Ozor, 2009). Climate change also affects livestock production due to reduction in the available pasture land, reduction in surface water resources for animals, increase in salinity of water resources for animals, increase in salinity at watering points due to increased temperature and evaporation in the face of reduced rainfall. This implies that there would be a decline in the production of livestock, resulting in a reduction in the supply and availability of animal produce including meat, egg, milk and other animal produce such as hides and skins (Ozor, 2009).

In Nigeria, climate change also affects forestry due to erosion and excessive wind thereby resulting in decline in forest produce such as wood and cane. Consequently, it leads to reduction in forestry produce and low income, as well as an increase in the costs of building and furniture materials. Onuoha (2009) estimated the cost of deforestation and losses in non-timber forest products in the last 5 years in Nigeria at N120 billion per year which is equivalent of 1.7% of gross domestic product (GDP) in 2003. Obviously, climate change portrays a potential threat to the composition of agricultural output on agricultural output in particular and to aggregate national output in general.

In 2012, Nigeria adopted its Climate Change Policy Response and Strategy (CCPRS) to ensure an effective national response to the multi-faceted impacts of climate change. The main goals of the CCPRS include: Implementation of mitigation measures that will promote low carbon as well as sustainable and high economic growth, enhancement of national capacity to adapt to climate change, raising climate change related science, technology and research and development to a new level.

This will enable the country to better participate in international scientific and technological cooperation on climate change; significantly increase public awareness and involve private sector participation in addressing the challenges of climate change; strengthen national institutions and mechanisms (policy, legislative and economic) to establish a suitable and functional framework for climate change governance. The National Adaptation Strategy and Plan of Action for Climate Change Nigeria (NASPA-CCN) describes the adaptation priorities

for future action. The NASPA-CCN vision is a Nigerian approach in which climate change adaptation is an integrated component of sustainable development, reducing the vulnerability and enhancing the resilience and adaptive capacity of all economic sectors and of all people to the adverse impacts of climate change, while also capturing the opportunities that arise as a result of climate change.

The impact of climate change is numerous. The variations in rainfall, temperature, drought, and humidity associated with the science of climate change in Nigeria affect climate dependent sectors. It affects the socioeconomic and political landscapes of countries as well as the relationship across nations as a trans-boundary phenomenon. As a result of its features which are life threatening; the rising sea levels, flooding, starvation, desertification, it is recognized as a threat to human existence. Certain factors such as HIV/AIDS, failing commodity prices, and in some areas have significantly weakened the ability of poor Nigerians to withstand shocks from extreme climate events.

Climate change puts our food and waste supplies at risk, as well as our health, security, stability, and property. Different countries' economic conditions and institutional infrastructure have an effect on their vulnerability to climate change. Certain countries particularly those with affluent economies, exhibit a high degree of resilience, while others, particularly those in sub-Saharan Africa with less favourable economic and institutional conditions, are more fragile. Indeed, because developing countries are frequently exposed to a variety of climatic and non-climatic stresses, their failure to collect reliable data on the resulting consequences exacerbates the consequences.

With climate change affecting highly populated locations in Nigeria like Lagos state, the number of environmental refugees displaced by natural disaster will increase. Forced migration therefore becomes one of the effects of climate change in human settlements, industries and businesses.

Flood catastrophes in 2010 affected almost 250,000 people in Nigeria (BRNCCC 2011). In 2012, the situation became worse as the country was hit by high incidence of flooding; 1.3 million people were affected and over 400 people killed and in Makurdi, the flood was much that crocodiles were found in the streets of the town. These incidence were blamed on climate change thus making the Director General of the National Emergency Management Agency (NEMA), Muhammad Sani-Sidi, to say that, 'We are now living witnesses to the reality of climate change and global warming where areas considered dry land in the Northern part of the country witnessed excessive and torrential rainfall while some communities in the South were also submerged'' (Ezigbo, 2012). Rainfall patterns across the country have changed dramatically over the years, with most regions now seeing late onset rainfall as opposed to only a few areas in the northeast, northwest, and southeast (BNRCC, 2001).

Climate change affects human health and survival creating a major concern as well as the health and survival of other species of flora and fauna, and the environment. The World Health Organization (WHO) estimated that at least 150,000 deaths each year could be traced to the outcome of climate change. Moreover, the figure is expected to double by 2030 with connections to flooding and water-related diseases (WHO, 2021). Studies have claimed that climate change-related torrential flooding has led to disease outbreaks in various regions of the globe (Lislie, 1995; Rose et al., 2000). Consequently, the Nigerian population could be exposed to such threats.

Another area affected by climate change is source of livelihood. Livelihood is a means of securing the necessities of life. The effect of climate change threatens the means of sustenance of people. With the increased threats to productivity, farmers' income will diminish and their ability to meet household needs (food, income, etc) will be difficult (Ozor, 2009). Oceanic acidification and increase in surface water temperature especially around the coast affects fish stocks and as a result threaten the livelihood of small-scale fishing communities in the area (IPCC 2007). This eventually will further deepen the vulnerability of the poor.

Climate change could also engender resource conflicts. In Nigeria, resource conflicts worsen given climate change as a result of the scarcity of resources. Population growth and the resulting increases in supply and demand for resources increase competition for scarce food, water, oil, and other resources. For instance, the Fulani herdsman and farmers in Nigeria compete for grassland and water resources thereby engaging in violent conflicts.

Aside from the effects of climate change visible in the nature of glaciers, vegetation, the core, and other exotic indicators, sea level variations are especially important in our assessments of Nigeria's socio-economic development. Some Nigerian observers have pointed out with some justifications that Nigeria is doubly vulnerable to climate change: heavy rainfall, flooding, soil erosion, and submergence of land in coastal areas as well as loss of wetlands (Ekott, 2009). Climate change in the South-South zone of Nigeria manifests primarily in increased precipitation, widespread flooding risk, ocean encroachment, increased deforestation, psychosomatic illnesses caused by the excessive heat of gas flaring and sea-level rise. However, it should be pointed out that while developing countries are concerned about the effects of climate change on their population, developed countries are concerned that climate change will limit their unique habits and lifestyle. This is the irony of life.

Climate change impacts are moderated by the level of socioeconomic development of a given community and Nigeria's rather weak socioeconomic development is heightening the severity of the impact; further limiting the country's capacity to respond to emerging challenges (Adesina & Odekunle, 2011). Without serious interventions, including, adaptation, the impact of climate change could be greater as the century progresses. This makes it crucial for Nigeria to focus on those activities and programs that would strengthen its resilience and adaptive capacity in terms of socioeconomic development and effective management of ecosystems (Raffaello et al., 2013; United States Agency for International Development (USAID, 2018).

2.1.4 Climate Governance and Policies as Response to Climate Change in Nigeria

Awareness creation on the impact of climate change involves the effort of everyone; thus, climate change governance involves broad public participation in decision-making which is a critical condition for achieving climate-resilient development. In Nigeria, various stakeholders, (government, non-governmental organizations, the academia and private organizations) collaborate to achieve positive results in climate change management and governance, disseminating information to every local community, stating the impact of climate change on the people especially those into agriculture.

With the recognition of the impact of climate change on the socio-economic development of the country and the well-being of the populace by the federal government and other non-

governmental organizations, efforts are made to manage climate-related development challenges with appropriate policy and institutional arrangements that will encourage the implementation of mitigation and adaptation actions at all levels of governance for climate compatible sustainable development. Such efforts include in 2012, the Federal Executive Council approved a comprehensive strategy policy on climate change: the Nigeria Climate Change Policy Response and Strategy (NCCPRS), a document which is an output of a national participatory and stakeholders consultative approach to put in place a well-defined national climate change response framework and implementation plan that incorporates critical elements of mitigation and adaptation, contains policy elements and short, medium and long-term national strategies that will enable the country to mainstream mitigation and adaptation into its national development efforts. This is to enable Nigeria respond effectively to the impact of climate change to reduce its vulnerability and enhance its resilience so that the national priorities of rapid economic growth, energy sufficiency, job creation, food security, transparent and accountable climate change governance will be properly addressed.

The Policy has been guiding policy decisions and led to actions in responding to climate change in the country. With the development of the NCCPRS, the global discourse on climate change has led to the adoption of new initiatives that have been domesticated to guide national response to reducing the impact and adapting to the challenge. In particular, a major basis for Nigeria's effective response to the challenge of climate change is the implementation of the 2015 Paris Agreement constitutes an important milestone in promoting the transition to a low carbon economy. Thus, the purpose of this National Policy on Climate Change is to define a new holistic framework to guide the country's response to the development challenge of climate change. As a framework document, it prescribes sector and cross-sectoral strategic policy statements and actions for the management of climate change within the country's pursuit for climate resilient sustainable development (Federal Ministry of Environment, 2021).

Also, the government of Nigeria mapped out other steps to address the challenges of climate change and they include the establishment of the Department of Climate Change (DCC) in the Federal Ministry of Environment which is the focal point to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and also the Designated National Authority (DNA) for the Clean Development Mechanism.

The DCC works with other Ministries through the Inter-Ministerial Committee on Climate Change. Also taken as a measure are some development policies with clear implications for climate change adaptation: (i) Vision 20:2020; (ii) the Transformation Agenda (2011 – 2015); and (iii) Economic Recovery and Growth Programme (ERGP) (2017 – 2020). There is also the Nationally Determined Contribution (NDC) which was developed in 2015 towards the ratification of the Paris Agreement on Climate Change. Its aim is to reduce greenhouse gas (GHG) emissions intensity of GDP by 20% by 2030 relative to the emissions intensity of GDP in the base period 2010 to 2014 on an unconditional basis as well as a further 45% on a conditional basis consequent upon receiving climate finance, technology transfer and capacity building from the developed countries.

2.2 Theoretical Review

Two theoretical perspectives are particularly relevant towards our understanding of the phenomenon of climate change; namely the Anthropogenic Global Warming (AGW) hypothesis and the standard theory of externalities. The UK Met Office (1998) describes the AGW hypothesis as the first theory of climate change, which contends that human emissions of greenhouse gases principally carbon dioxide (CO₂), methane, and nitrous oxide, are causing a catastrophic rise in global temperatures. The mechanism whereby this happens is called the enhanced greenhouse effect. Energy from the sun travels through space and reaches the earth. The earth's atmosphere is mostly transparent to the incoming sunlight, allowing it to reach the planet's surface where some of it is absorbed and some is reflected back as heat into the atmosphere. Certain gases in the atmosphere, called "green-house gases" absorb the outgoing reflected or internal thermal radiation, resulting in earth's atmosphere becoming warmer than it otherwise might be. Water vapour is the major greenhouse gas, responsible for about 36-90% of the greenhouse effect, followed by CO₂, methane, and ozone. During the past century, human activities such as burning of wood and fossil-fuel as well as burning of forests are thought to have increased the concentration of CO₂ in the atmosphere by approximately 50%. Proponents of the AGW theory believe that man-made crop failures, species extractions, spread of diseases, ocean coral bleaching, famines and literally hundreds of other catastrophes are fall-outs of climate change.

According to them, all these disasters will become more frequent and more severe as temperatures continue to rise so that only large and rapid reductions in human emissions will save the planet from these catastrophic events.

Like other environmental problems, climate change involves externality, for instance, the emission of greenhouse gases causes damages to other economic agents for which they are not compensated by the agent responsible for the emission. The standard theory of externalities points to one of taxation of the emitter equivalent to marginal social cost of the externalities generated by it. But where there is weak representation of those most affected, coupled with long-term horizons, a global scale major externalities, and important interactions with other market failures, then resolving the externality problem can be quite complex. Hence, while the standard theory can provide useful initial insights, there is a much deeper and more complex economic policy problem. There is a problem of intertemporal international collective action with major uncertainty and linked market failures.

2.3 Empirical Review

Empirical studies have also confirmed that climate change can have substantial impacts on the overall economy. In Ethiopia, Gebreegziabher et al. (2011) examined the economic effect of climate on agriculture productivity (GGE) model. The study observed that the impact of overall climate change will be relatively benign until approximately 2050, and thereafter worsen considerably. Further, the simulation results showed that, over a 50-year period, the projected reduction in agricultural productivity may lead to about 30% less average of climate change. Using descriptive analysis, Ozor (2009) demonstrated the processes that lead to climate change so as to enable a better understanding of the concept. The study described in details the impacts

of climate change on various issues of national development such as low agricultural productivity, food insecurity, resource conflicts, unemployment, environmentally-induced migration, livelihood problems and health issues. The study also noted that these impacts are as a result of devastating effects of flooding, drought, erosion, desertification, sea level rise, heat stress, pests and diseases, and erratic rainfall patterns, arising from climate change.

The study further suggested the need for climate policy in Nigeria, the establishment of NCCC, the development of a national framework for climate change adaptation, and the embracing of emerging technologies.

Onuoha (2009) examined the threats posed by climate change across the globe with particular reference to developing countries, where agriculture is a dominant sector and in turn depends on weather and climate. The study utilized the sustainable development model in the form of the Green Wall Sahara Nigeria Program as a strategy for greening the drought-prone and desert infested areas of Northern Nigeria. The study concluded that the challenges of climate change to economic growth and sustainable development in Nigeria require creative thinking, holistic ideas, innovative solutions and the involvement of all stakeholders. Agwu and Okhimamhe (2009) conducted two studies on the gender dimensions of climate change in North-Central and South-Eastern Nigeria. The North-Central study assessed the impact of climate change on the Zumba and Augie Communities in Niger and Kebbi states respectively. It highlighted the challenges and adaptation strategies of the selected communities. The study observed that communities had noticed climate change but failed to identify its causes. Some of the women in these communities attributed the climate change such as environmental degradation to the construction of the Shiroro dam and the resulting massive deforestation. Less scientifically, Augie women believed that the flood waters from Bakoleri and Goronyo dams which destroyed their farms and affected the health of their people were calamities inflicted by the gods. Again, the women accepted that they had contributed to deforestation in their search of the wood which led to the disappearance of many plant and animal species. Although these resilient communities have put various adaptation measures in place, they were not primarily targeted at reducing the impact of climate change. The study finds that Augie community is already practising a number of coping strategies and requesting for assistance to strengthen them. Specifically, the stakeholders of the community requested for funding, awareness campaigns and capacity building. In Zumba, awareness campaigns are also needed to address traditional beliefs. The second aspect of the study focused on two South-eastern communities, namely Enugwu Nanka in Anambra State and Akama Amankwo Ngwo in Enugu State. The study revealed that the impacts of climate change in South-Eastern Nigeria include the destruction of roads and economic trees by landslides and tornadoes. Climate change is also responsible for excessive heat, heightened insect activity and the drying up of streams.

The study concluded that while ingenious adaptive and mitigation strategies developed by women were found in the sample states, better policy making to combat climate change is urgently needed.

Nwafor (2007) notes that a common theme in the climate change vulnerability literature is the idea that countries, regions, economic actors and social groups differ in their degree of vulnerability to climate change. This is partly due to the fact that changes in temperature and

precipitation occur unevenly and that climate change effects on resources and wealth are distributed unevenly across the globe. Onuoha (2008) examined these observations by adding that unless appropriate mitigation measures are adopted to reduce vulnerability in Nigerian and other developing countries of sub-Saharan Africa, climate change portends grave danger not only to the people but also to the biotic and abiotic environments. The study expressed concern that all the developmental advances witnessed in sub-Saharan Africa may be destroyed or reversed over a short period of time unless the effects of climate change are urgently tackled.

3.0 Results and Discussion

The empirical analysis began with the examination of the data for its time series properties. The results of the unit root tests are shown in Table 1. The results indicate that all the series are $I(1)$ except annual rainfall. This suggests that the variables may be co-integrated, since the dependent variable (GDP) has the same order of integration with majority of the regressors. Indeed, we conducted the co-integration test using the residual approach. The result which is shown in Table 2, indicates that the residual is stationary at all level, thereby confirming the existence of an equilibrium relationship between the variables.

Table 1: Unit root test results

Variable	ADF	Phillips-Perron	Result
GDP	1(1)	1(1)	1(1)
ARF	1(0)	1(0)	1(0)
GEM	1(1)	1(1)	1(1)
FDI	1(1)	1(1)	1(1)
GEXP	1(1)	1(1)	1(1)
PINV	1(1)	1(1)	1(1)
REXR	1(1)	1(1)	1(1)

1(0) and 1(1) denote stationary at level and after first difference, respectively. The unit root tests were performed at 5% level controlling for trend and intercept for GDP, GEXP and REXR and controlling for only intercept in other cases. All variables are in their natural log transformation, GDP (Gross Domestic Product); ADF, Augmented Dickey Fuller

As a robustness check, we also conducted the Johansen co-integration test and the results are shown in Table 3. While the Trace test indicates the existence of at least 4 co-integrating equations.

Table 2: Testing the residual for unit root

Variable	Augmented Dickey Fuller Test Statistics	1% Critical Value	5% Critical Value	Probability Value
Residual	-6.339649	-3.646342	-2.954021	0.0000

The residual is stationary at 1% level of significance

Table 3: Johansen co-integration test results

Hypothesized number of CE (s)	Trace Statistics	5% critical value	P value	Hypothesized number of CE (s)	Max-Eigen statistics	5% critical value	P value
None (x)	218.0508	150.5585	0.0000	None	56.8722	50.5999	0.0099
At most 1 (x)	161.1786	117.7082	0.0000	At most 1	51.3355	44.4972	0.0078

At most 2 (x)	109.8431	88.8038	0.0007	At most 2	43.1871	38.3310	0.0128
At most 3 (x)	66.6560	63.8761	0.0286	At most 3	30.1416	32.1183	0.0855
At most 4	36.5144	42.9153	0.1881	At most 4	18.4746	25.8232	0.3418
At most 5	18.0380	25.8721	0.3414	At most 5	11.7789	19.3870	0.4360
At most 6	6.2592	12.5180	0.4281	At most 6	6.2592	12.5180	0.4281

Note: The xx indicates that the Trace statistics or the Max-Eigen statistics is greater than the corresponding 5% critical value

Table 4: Robust long-run estimation results (dependent variable = GDP)

Variable	Coefficient	Diagnostic checks	Remarks
Constant	3.71 (xxx)	Adjusted R	Good
ARF	0.17 (xx)	P-statistic	“
CEM	0.22 (xxxx)	Valid F-statistic	“
FDL	0.01	Durbin-Watson Statistic	
GEXP	0.84 (xxxx)	Breusch-Godfrey Test (observed Chi-square)	
PINV	-0.35 (xxxx)	Breusch-Pagan-Godfrey Test (observed Chi-square)	
REXR	-0.14 (xx)	Jarque-Bera statistic	

Table 5: ECM estimation results (dependent variable = D(GDP))

Variable	Coefficient	Diagnostic checks	
Constant	0.05	R Square	0.59
D(ARF)	0.10 (x)	Adjusted R square	0.48
D(CEM)	-0.21 (x)	F-statistic	Remarks
D(FDL)	-0.05	Durbin-Watson statistic	
D(GEXP)	0.76 (xxx)	Breusch-Godfrey test (observed Chi-square)	
D(PENV)	-0.30 (xxxx)	Breusch-Pagan-Godfrey test (observed Chi-square)	
D(REXR)	-0.29 (xxx)	Breusch-Pagan-Godfrey (observed Chi-square)	
BCM(-1)	-1.09 (xxx)	Jarque-Bera statistic	

Following the establishment of an equilibrium relationship between the variables, we estimated the long-run relationship of equation 1. The results are shown in Table 4. We summarize the main findings as follows. First, out of the three climate change variables in this study, only carbon emission impacts negatively on the overall output growth of the Nigerian economy. This suggests that Nigerian government must resolve and implement policies that will reduce the amount of carbon emission in the country, especially those coming from the consumption of fossil fuel and gas flaring. Second, the impacts of rainfall and carbon emission are statistically significant at the 5% level. This shows that these climate change variables are important in Nigeria. Third, contrary to expectation, the impact of forest depletion is positive, though it is not statistically significant. This may be due to inadequacies in documenting forest depletion activities in Nigeria. Consequently, the study will favour the continuation of efforts towards forest conservation in Nigeria. Fourth, all the control variables conformed to theoretical expectations, except for domestic private investment. While government expenditures impacts

positively and significantly on output at the 1% level, both private investment and exchange rate impact negatively.

The diagnostic checks indicate that the underlying assumptions of the model have been substantially satisfied. The adjusted R square shows that the regressors have adequately accounted for the variations in the dependent variable. The F-statistics, which is strongly significant at the 1% level, shows that the model as a whole is meaningful. The Durbin-Watson Statistic which is approximately 2 is in line with theoretical expectation. Even though the Breusch-Godfrey Test indicates the presence of residual serial correlation problem at the 5% level, we corrected the problem using the Newey-West FAC method.

The Breusch-Pagan-Godfrey test shows that there is no problem of Heteroscedasticity in the results. The Jarque-Bera statistic shows that the residual is normally distributed in line with theoretical expectations. Overall, the model assumptions are adequately fulfilled.

5. Conclusion and Recommendations

This paper examined the impact of climate change on socio-economic growth and development in Nigeria. The paper used OLS estimation technique and data for the period 1981-2014. Changes in annual rainfall, carbon emission and forest depletion were used to capture climate change, while government expenditure, domestic private investment and exchange rate were used as control variables in order to obtain robust estimates. The paper estimated an error correlation model in order to account for both long-run and short-run relationships. The results indicate that both in the long-run and short-run, carbon emission affect output growth in Nigeria adversely. In addition, forest depletion impacts negatively on national output growth in Nigeria in the short-run. These results imply that Nigerian government should evolve and implement policies to curb carbon emissions and forest depletion. In other words, government intervention is required to reduce carbon burning, deforestation and fossil fuel consumption. Government should evolve policies to encourage the use of environmental-friendly equipment, machines, infrastructure, and technologies that generate minimal greenhouse gases, such as improved road and rail transport as well as use of bio-fuels and energy saving devices. A NCCC is obviously required in Nigeria to deal with all climate change issues. Furthermore, the finding that domestic private investment and naira-to-dollar exchange rate impede output growth in Nigeria implies that policymakers and governments at all levels in Nigeria should evolve and implement policies to reverse these undesirable outcomes.

References

- Adesina, F. A., & Odekunle, T. O. (2011). Climate Change and Adaptation in Nigeria: Some background to Nigeria's response. In International Conference on Environment and Agriculture, IPCBEE 15, JACSIT Press, Singapore.
- Asogwa, F. (2003). Lecture Guide on Global Climate Change, Enugu.
- Edeh, H., Eme, C., & Nnoli, T. (2014). The Political Economy of Climate Change in Africa. Nigerian Chapter of Arabian Journal of Business and Management review, July.
- Ekott, J. (2009). Nigeria is gravely at Risk of Climate Change, NEXT No. 234, Thursday November 12.
- Njoku, J. D. (2006). Analysis of the Effect of Global Warming on Forests of South-eastern Nigeria Using Relatively-sensed Data. Unpublished PhD Dissertation, Department of Geography and Environmental Management, Owerri, Imo State University.

- Nwafor, J. C. (2007). Global Change: The Driver of Multiple Causes of Food Insecurity in Sub-Saharan Africa. Paper Presented at the International Conference on Climate Change and Economic Sustainability, Awka, Nnamdi Azikiwe University, 12-14 June, 2007.
- Onuoha, C. M. (2008). Understanding climate change in African economies: The Green Economic-International Journal of the Green Economies Institute, UK, 3(2) Autumn. Available from <http://www.greeneconomies.org.uk>
- Ozor, N. (2009). Implications of Climate Change for National Development – The Way Forward. African Institute for Applied Economics (AIEE), Enugu Forum Policy Paper 10.
- UK Met Office, (1998). Easter 1998 Floods. Available from <http://www.meteoffice.gov.uk/climate/uk/interesting/easter1998>. (Last accessed on 2017 Jan 03)

IMPACT OF EMPLOYEE MOTIVATION ON THE PERFORMANCE OF MANUFACTURING FIRMS IN LAGOS STATE, NIGERIA

DR CHUKWUEMEKA G, EME, PhD

**Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences,
National Open University of Nigeria (NOUN)**

Abstract:

The main objective of this study was to identify the motivators influencing the work of employees and to assess the impact of the level of employee motivation on the results obtained by manufacturing firms based in Lagos State, Nigeria. Employees of selected manufacturing firms in Lagos State were selected to carry out the research process. The research was conducted based on the descriptive survey method, while the research tool was survey questionnaires, constructed from closed-ended questions. Google surveys were conducted anonymously. The survey was made available through Google Forms. In addition, a pilot face-to-face interview was conducted among the selected survey participants, which allowed the pre-prepared survey to be detailed. The adoption of these research techniques allowed the collection of statistical (quantitative, economic data), and qualitative (perceptions, value judgements, evaluations, opinions, awareness of facts) materials. The research confirmed that, in addition to financial motivators, high levels of employee motivation are also influenced by job stability, independence, the opportunity to be creative and a friendly atmosphere in the workplace. The research also confirmed that highly motivated employees show higher work efficiency and care more about the quality of their products or services, which positively strengthens the organization's credibility and position as a stable employer. The study concludes there exists some relationship between the level of employee motivation and its impact on organizational performance.

Key Words: Management, human resource management, employee motivation, organizational performance, manufacturing firms, Lagos State, Nigeria

1.INTRODUCTION

1.1 BACKGROUND TO THE STUDY

The manufacturing industry has been experiencing unprecedented degree of change, intense competition and turbulent environment over the years. These include rapid change in technology, management, market segmentation, the convergence of different industries, customer demands and expectations, supplier attitudes, shorter product life cycle, innovations and many more aspects which have affected the performance of these firms (Wiggins & Ruefli, 2005; Spina, Barkzaghi, Bett, Cagliano, Draajler & Boer, 2006; McNamara, Vaaler & Devers, 2013; Hum & Sim, 2006). Manufacturing firms are facing incredible and significant challenges as a result of the dynamic character of manufacturing itself, its market, and environmental situations (Ahmad, Othman & Jazim, 2024).

Most of the authors as cited above (Wiggins & Ruefli, 2005; Hum & Sim, 2006; Vaaler & Devers, 2013; Ahmad, Othman & Jazim, 2024) are of the opinion that among the panacea to curbing and improving the Nigerian manufacturing sector is the human resource element of the manufacturing organizations, which can only be achieved through a highly motivated workforce. This position is adumbrated by the adage that "a hungry man is an angry man". It cannot be overemphasized that a fully-motivated and satisfied workforce will invariably

contribute to efficient and effective organizational performance and achievement of optimum productivity and profitability.

Human resource is the livewire of any organization. Its effective management is therefore very crucial and central to the achievement of organizational objective. One of the important responsibilities of every organization is making great use of every facility at its disposal in order to achieve the planned purpose and meanwhile, the human resources play an important role (Schil, 2006). In today's competitive world, human resources guarantees the maintenance and survival of every organization (Homari, 2006).

Managers fulfil their organizational goals through the work of employees. Thus, managers need to have highly efficient and productive staff members. Although many factors contribute to productivity, job performance is viewed to be the most influential one. Job performance itself is a function of four variables: ability, understanding of the task, environment, and motivation (Mitchell, 2008). Accordingly, in order to perform well, employees need to have the knowledge and tools that are required for the job as well as the will to do what is required from them.

The statement that people are the most important asset has been present in management since the 1970s (Sienkiewicz, 2018). The emergence of the stand-alone HR function of the enterprise (turn of the 20th century), which was focused on matching employed employees to existing organizational structures, predates publications recognizing the importance of human resources in the production of goods and services.

For example, R. Owen already pointed out the importance of human resources and material and financial resources in production in the first half of the 19th century (Aldag and Streams, 1987). During this period, the threat of losing one's job was considered the primary mechanism for motivating people to work (Pocztowski, 2007). The current state of the personnel function in Nigeria is a resultant of several factors.

The first is the burden of the past, which was characterized in the area of personnel management by such features as the lack of a systematic approach, the attractiveness of the activities undertaken, the influence of political factors and the high centralization of the function (Listwan, 1993), where the effect was a low rank of the personnel function and a lack of professionalism in this area of business management.

The second factor is the changes in the environment of Nigerian business organizations. An element of these changes is the emergence of a market for personnel consultancy services. The third important factor is the state of knowledge about the nature and conditions of the performance of the personnel function (Pocztowski, 2007; Aldag and Streams, 1987; Thalassinou et al., 2019).

Today, motivating employees is an important part of human resource management. Motivation is found, among others, in the definition of H. King, and A. Ludwiczynski, according to which human resource management is a set of interconnected activities, that include hiring, developing, and motivating people in organizations, as well as shaping appropriate relationships between managers and employees (Armstrong, 1998).

Today, organizations must use the power of technology and human capital to survive in a competitive environment (Uygur et al., 2021). Motivation in relation to management is a complex process, the essence of which is to encourage an employee to perform his or her duties in such a way that they satisfy his or her supervisor and also bring tangible benefits to the organizations. From an organizational perspective, motivation is a process that stimulates employees to act to achieve organizational goals (Prasatiyani et al., 2021). According to Yang

and Ai (2020), employee motivation has two sources, namely intrinsic and extrinsic. Extrinsic motivation can be attributed to factors in the workplace, whereas intrinsic motivation is an inner driving force that propels you to achieve more (Mazllami, 2020). Likewise, well-rewarded employees feel that the organization is valuing them. If an employer takes care of the employee and rewards them for appreciating their work, in return, the employee will put maximum effort to achieve his defined targets (Jeni, Mutsuddi, & Das, 2020). The absence of a motivation and rewards system reduces workers' morale (Hammond & Waltermeyer, 2021). Similarly, Shaikh, Shaikh, and Shaikh (2019) stated that firms with poor motivation and reward systems experience higher employee turnover.

Numerous factors that bring success for business include excellent products and services, efficient processes, and outstanding strategies. Of all them, people play an imperative role in contributing to a company's performance. Even, there was an article named 'The Human Element: Your Most Important Business Resource' (Ferresm 2015) in order to emphasize the importance of human resource in a business. It is believed that human capital is an indispensable component when the business plans, reviews, manages and makes decisions in all strategies. Human capital leads to the success or the failure of an organization in all industries, especially in the manufacturing industry.

Motivating the workforce helps to ensure they enthusiastically bring their efforts each day and help the organization meet the sales and performance goals (Craig, 2017). Furthermore, the high salary and good positions even are not the conditions to maintain the employees. However, the manufacturing industry is one of the top most attractive industries rated by talents besides their current field (Thanh, 2019).

This study aims at examining the impact of employee motivation on organizational performance adopting an empirical evidence from selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. It explores the definitions of motivation, methods adopted to motivate as well as maintain the human capital. In order to understand the motivation of employees in the manufacturing sector, various pieces of literature discussing the definition of motivation, the description of manufacturing firms, the employment typologies at these firms, and the importance of motivating the workforce in the manufacturing industry was elaborately reviewed.

1.2 STATEMENT OF THE PROBLEM

In a bid to motivate and improve the performance of employees in the Nigerian manufacturing sector, various Nigerian governments at different periods introduced several policy measures aimed at improving the productivity and efficiency of the manufacturing sector in order to facilitate development and economic growth (Sola, Obamuyi, Adekunjo & Ogunleye, 2013). The import substitution strategy was adopted by the Nigerian nation during the First National Development Plan (1962-1968) which aimed at reducing the volume of imports of finished goods, encouraging foreign exchange earnings; the stabilization measures of 1982 which culminated into the Structural Adjustment Programme (SAP) of 1986; the introduction of the economic programme tagged NEEDS (National Economic Empowerment and Development Strategy). Though the NEEDS document tended to be more entrepreneurial, the initiative was essentially useful for large scale industries, which excluded the manufacturing sector. These measures notwithstanding, the performance of the manufacturing sector remain comatos and inefficient.

Poor performance in the Nigerian manufacturing sector in most cases stem from dissatisfaction among the manufacturing firms employees. The problem of low motivation also affects the performance of employees in the manufacturing sector. Some of the indicators of low performance and poor performance among these manufacturing workers include inadequacy of technical supervisory personnel, high rate of labour turnover among experienced staff, lateness, restricted training opportunities, poor remuneration and compromise and lack of institutional strengthening (Ndukwe, 2023, Ekakitie, 2020).

The implications of these are low quality expectations and lack of trust in the employer-employee relations, and ultimately leading to low productivity, low market share, high employee turnover and dwindling sales on products and services and embarrassing poor profitability, amongst others. It is in a bid to revamp and restore the manufacturing industry in Nigeria to expected effectiveness, efficiency, high productivity and profitability that the researcher had recommended efficiency in employee motivation as a panacea to the above myriads of problems facing the Nigerian manufacturing sector and thereby justifying this study.

1.3 OBJECTIVES OF THE STUDY

The major (general) objective of this study was to examine the impacts of employee motivation on the performance of manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. The specific objectives of the study were to:

- i. examine the relationship between training and increased competence for employees in the selected manufacturing firms in Lagos State;
- ii. examine the relationship between financial incentives (financial motivation) and work habits of employees of the selected manufacturing firms in Lagos State;
- iii. determine the impacts of recognition on successful completion of tasks for employees of the selected manufacturing firms in Lagos State.

1.4 RESEARCH QUESTIONS

The following research questions were formulated in this study:

- i. What is the relationship between training and increased competence of employees of selected manufacturing firms in Lagos State?
- ii. What is the relationship between financial incentives (financial motivation) and work habits of employees of selected manufacturing firms in Lagos State?
- iii. What are the relationship between the impacts of recognition and successful completion of tasks for employees of selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria?

1.5 RESEARCH HYPOTHESES

In line with the objectives of this study, the following research hypotheses were formulated and will be tested at 0.06 alpha level of significance.

H₀₁: There is no significant relationship between training and increased competence for employees of selected manufacturing firms in Lagos State.

H₀₂: There is no significant relationship between financial incentives (financial motivation) and work habits of employees of selected manufacturing firms in Lagos State.

H₀₃: There is no significant relationship between the impact of recognition and successful completion of tasks for employees of selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

1.6 SIGNIFICANCE OF THE STUDY

Although the literature is affluent with motivation strategies, the problem is that most of them fall short of practical application or offer it only for the public sector. Even the studies that have been conducted on motivation in the private sector were mainly in relation to productivity in institutions whose outputs are easily quantifiable. There is no study that has focused on the impacts of employee motivation on the performance of selected manufacturing firms, particularly in Lagos State.

To this end, the study sought to cover this knowledge gap, as it carried out empirical assessment of the impact of employee motivation on selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. This study would also provide empirical knowledge of the problems of motivation in the Nigerian manufacturing sector and this would be of great benefit to the Managers of organizations, and policy makers involved in human resource management. The results of the study would hopefully be significant in the sense that it would show how the Managers of the manufacturing sector could harness training and financial incentives (financial motivations) to inspire their employees to increase and sustain organizational performance.

1.7 SCOPE AND LIMITATIONS OF THE STUDY

The study was delimited to the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. These firms were selected as they were leaders in the manufacturing sector in Lagos State. The researcher focused on the impact assessment of motivation on employee performance in the manufacturing industry. Some of the motivational factors covered in this study included training, financial incentives and recognition. In terms of workers' performance, the indicators covered were: increased competence, work habits and successful completion of task.

1.8 OPERATIONAL DEFINITION OF TERMS

For the purpose of clarity, some of the most important concepts and variables used in this study were defined authoritatively and operationally as follows:

Motivation: Robbins and George (2000) see motivation as the set of psychological processes that cause this arousal, direction and persistence of individuals' behaviour toward attaining a goal.

Training: According to Ounna (1999), "training is concerned with the development of new skills, new attitudes, technical knowledge and values required to perform specific jobs".

Financial Incentives: These are monetary package and gratuity, like fringe benefits, bonuses, pension, and gratuity, housing allowance and staff grants, provided to workers to boost their morale and work or performance. enhance their performance in an organization.

Recognition: This is the process of publicly acknowledging and rewarding the employee's high quality work or performance.

Employee Performance: This is the successful completion of task by a selected individual or individuals, as set and measured by a supervisor or organization, to pre-defined acceptable standards while efficiently and effectively utilizing available resources within a changing environment. Some of the variables or indicators of employee performance are increased competence, successful completion of task, work habits, timeliness, meeting goals, supervisory time, and implementation of new ideas among others.

Increased competence: This refers to greater abilities, commitments, knowledge and skills that enable a worker to perform effectively in a job.

2.0 REVIEW OF RELATED LITERATURE

2.0.1 Preamble

In this section, the works of different scholars and authors related to the topic under study were reviewed. The essence was to discover what had already been done in the area, and the knowledge gap, and consequently fill it. The review was organized into various sub-headings that reflect the variables under study. There were six (6) sub-headings under review thus: conceptual review, theoretical review, theoretical framework, empirical studies/review, gaps in literature and summary of literature review

2.1 CONCEPTUAL REVIEW

The conceptual review reviewed the basic concepts on which the study was anchored. They include: the meaning of motivation, the role of motivation in the organization, employee performance, relationship between motivation and employee performance as well as motivation and workers performance in the Nigerian manufacturing sector.

2.1.1 Meaning of Motivation

An effective organization will make sure that there is a spirit of cooperation and sense of commitment and satisfaction within the sphere of its influence. In order to make employees satisfied and committed to their various jobs in the organization, there is need for a strong and effective motivation at the various levels, departments and sections of the organization.

The word motivation is coined from the Latin word *motus*, a form of the verb *movere*, which means to move, influence, affect, and excite. By motivation, we then mean the degree to which a person is moved or aroused to act (Rainey, 2023). Scholars have expanded the term to include the set of psychological processes that cause the arousal, direction and persistence of individual's behaviour toward attaining a goal (Greenberg and Baron, 2023; Robbins and George, 2008). The latter definition determines three pillars of motivation. The first - arousal - has to do with the drive or energy that ignites behaviour (Greenberg & Baron, 2023). The second - direction - has to do with the type of behaviour that is exerted and whether it is in line with demand or organizational goal (Robbin & George, 2008). The third pillar - persistence - deals with the lastingness of behaviour. Though, this factor is of less importance, because persistence can be simply defined as the reaffirmation initial arousal of the initial arousal and direction processes.

Furthermore, the definition asserts that motivation is an individual phenomenon. Each individual is unique and has different needs, expectations, values, history, attitudes and goals (Greenberg & Baron, 2023). Hence, a manager cannot assume that what motivates him/her will also motivate the employee. And what motivates one employee may not necessarily motivate another. Thus, individual needs and characteristics shape and define what constitutes motivation. By implication, there is no best approach to motivate people in an organization. This may account for the plethora of motivational theories in the literature of organizational psychology.

Be it intrinsic or extrinsic, motivation is not an end in itself, but rather a means to an end (Wright, 2021). The ultimate goal of motivation is action, as insinuated on the last part of the definition - toward attaining a goal. And in the workplace, action means performance. Thus, the objective of work motivation research is 'to learn how to motivate employees to perform the duties and responsibilities assigned by the organization (Wright, 2020). That being said, it is important to say attention not to automatically associate motivation with performance.

Motivation alone does not determine performance. It is only a factor in a series of components that contribute to the level of employee performance (Rainey, 2023). And, performance should not be mistakingly understood as productivity, since sabotage and absence are motivated behaviours as well (Landy & Coote, 2020). To add to this, motivation may be negative or positive, all geared towards achieving positive results. However, negative motivation may give rise to negative outcomes in some cases. It serves as deterrence to workers who might behave contrary to the expectations of the organization.

Motivation is also not to be confused with job satisfaction. Early exponents, such as the famous Hawthorne plant study in the late 1920s, led searchers to the false conclusion that happiness and satisfaction on the job equals high employee motivation to work. This has long been proven wrong (Landy & Coote, 2020). A worker can be extremely satisfied with his/her job and at the same time be unmotivated to exert effort. In fact, that is exactly one of the problems the Managers experience in motivating subordinates - some employees are very pleased with their comfort work conditions, e.g. job security, and still have very little motivation to work. Nonetheless, job satisfaction should not be mislaid. It may not have a direct effect on motivation, performance, and productivity, but it sure has been found to be related to employee retention, thus indirectly influencing organizational costs associated with employee absenteeism and turnover (Wright & Davis, 2023).

For purposes of this study, various elements of the many definitions of motivation have been combined to form an eclectic view of the concept. Motivation is viewed as an innate force, shaped and maintained by a set of highly individualized factors that may change from time to time, depending on the particular needs and motives of the employee.

Environmental forces, such as those related to the job itself and to the organization, do not have a causal link with motivation, but impact on the level of motivation experienced by the employee. Together, the innate and environmental forces determine an employee's behaviour at work. Motivation is a multi-dimensional concept that manifests in behaviours that may be observed, measured and to some extent at least, predicted.

2.1.2 Role of Motivation in the Organization

Why do we need motivated employees? The answer is for the survival of the organization. In the increasingly competitive, rapidly changing world of business, a motivated workforce is a great asset. Motivated employees are more productive, committed and loyal to the organization (Ojutalayo, 2023). Motivation is key among the factors for effective performance. Tosi, Rizzo and Carroll (2024) indicate that performance is the result of ability and motivation of employees. Thus:

$$\text{Performance} = f(\text{Ability} + \text{Motivation})$$

Robbins (2009) adds opportunity to the equation of performance thus:

$$\text{Performance} = f(\text{Ability} + \text{Motivation} + \text{Opportunity})$$

Robbins (2009) argues that even though an individual may be motivated and has the ability to perform there could be obstacles that constrain opportunity to perform. Kreitner and Kinicki (1998) give the following formula indicating that effective performance involves many factors, including motivation;

Performance = Level of ability + Levels of skill + Motivation + Knowledge about how to complete the task + Feelings/Emotions + Facilitating and inhibiting conditions not under the individual's control

According to Kreitner and Kinicki (1998) motivation is necessary, but not a sufficient contributor to job performance. Bagraim (2023) argues that effective performance is a factor of motivation, inherent ability, developed competence and opportunity. Ability is based on education, experience and training and its improvement involves a long process. On the other hand, motivation can be improved quickly and immediately (Hodgkins, 2023).

Bagraim (2023) emphasizes that an effective manager must understand employees and what motivates them, and that high levels of motivation are very important contributors to organizational performance. Highly motivated employees strive to produce at the highest possible level and they exert greater effort than employees who are not motivated.

Bagraim (2023) adds motivated employees are:

- > They always want to come to work;
- > They want to be part of teams at work;
- > They are interested in helping and supporting others at work; and
- > They generally exert greater effort in their work and contribute more in the organization

The effects of motivation do not stop with performance. In the group of motivated employees there are fewer work accidents, fewer rates of ethical problems, less employee turnover and lower levels of absenteeism (Durkiewicz et al., 2018). Motivated employees feel less stress, enjoy their work, and as a result have better physical and mental health (Robbin, 2010). Furthermore, motivated employees are more committed to their organizations and show less insubordination and grievance (Durkiewicz et al., 2018). They are also more creative, innovative, and responsive to customers, thus indirectly contributing to the long-term success of the organization (MANforum, 2019). In short, motivated employees are the greatest asset of any organization.

Tosi et al (2024) note that the subject of motivation is of interest to psychologists and managers since it is a factor in organizational psychology and human behaviour. As a psychological concept, motivation refers to the internal mental state of a person, which relates to the initiation, direction, persistence, intensity and termination of behaviour. Motivation is also a factor in management practice, therefore attracting interest of students of management and managers. Motivation as a management concept is seen as something managers do to induce others to act so as to produce results desired by the organization.

Kreitner and KINICKI (1998) observed that effective employee motivation has long been one of management's most difficult and important duties especially in the current situation where organizations tend to downsize, and in relation to the demands associated with managing a diversified workforce. From the foregoing, it is safe to state that motivation is vital to the realization of organizational goals. It provides workers with the zeal and persistence to accomplish objectives. However, there are different factors that motivate different people at the workplace. Thus, organizations that seek to successfully motivate their workers must adopt multidimensional strategy to motivation.

2.1.3 Employee Performance

Amos et al (2024) stated that "the effective management of individual performance is critical to the execution of strategy and the organization achieving its strategic objectives".

Performance cannot be left in anticipation that it will develop naturally, despite the employee's natural desire to perform and be rewarded for it. This desire needs to be accommodated,

facilitated and cultivated (Amos et al., 2024). In return for his performance, organizations extend themselves in various forms of acknowledgement (Foot and Hook, 2019). Individual performance has become a topical issue in today's business environment, so much so that organizations go to great lengths to appraise and manage it (Armstrong and Baron, 1998).

Whetten and Cameron (2018) stated that individual performance is the product of ability multiplied by motivation. Furthermore, Cummings and Schwab (2023) concur with the belief that performance is ultimately an individual phenomenon with environmental factors influencing performance primarily through their effect on the individual determinants of performance - ability and motivation.

Both ability and motivation are necessary to some degree before successful job performance is obtainable. Cummings and Schwab (2023) describe the need for at least minimal ability before an employee can carry out a task, regardless of how motivated he may be. Similarly, an abundance of ability will not result in successful performance if the employee is completely unwilling to perform adequately. This view is supported by Vroom (1964) who indicates that factors influencing individual performance within the organization are factors such as the ability of the person and the willingness of the person to exert effort (motivation).

Despite the motivation to perform, it is necessary to briefly highlight the barriers that might affect the performance of employees. These barriers may be as a result of underdeveloped competencies, inappropriate performance goals, or lack of feedback about performance (Helriegel et al., 2019). For organizational purposes, factors affecting overall employee performance may be separated into two groups: internal and external. Internal factors are those factors over which the organization has influence and control, such as leadership style and remuneration. External factors are those factors over which the organization has little or no control, such as demands for jobs grading systems (Helriegel et al., 2019).

2.1.4 Relationship between Motivation and Performance

The discourse of motivation and performance is like the chicken and egg discourse because of their complementary nature. Performance enhancement depends largely on a well-guided motivation directed at the employee's needs.

Motivation is, therefore, indispensable for good performance. It has been proved that an unsatisfied need can cause frustration, conflict and stress (Arowolo, 2020). Consequently, motivation in a way is a mechanism through which frustration, conflict and stress are managed not minimized. Motivation becomes motivation when it is able to induce workers to perform to the best of their ability. When workers are not genuinely motivated, that is, when motivation does not touch the immediate needs of workers, their ability to perform to the best of their ability is threatened. As a consequence, good performance and efficiency become elusive while poor performance and low productivity is encouraged.

From the foregoing, it is evident that the two concepts are inseparable. They both work hand-in-hand; they are interconnected; one is designed to strengthen the other. Motivation is not an end in itself; it means to an end. That is, it is aimed at good performance. It ensures better performance when rightly targeted. Motivation is also a creative tool against deficient performance. Therefore, it is a double-edged sword used to enhance performance and to prevent conflict and stress arising from neglect and frustration.

2.2 THEORETICAL REVIEW

Motivation is a complex phenomenon. Several theories attempt to explain how motivation works. In this section, some of the content, human relations and process theories of motivation were explored. Hence, this present study was anchored or underpinned by David McClelland's Acquired Needs theory, Abraham Maslow's Hierarchy of Needs theory, the ERG theory, Theories X and Y, Expectancy theory and the Equity theory. The researcher, therefore, briefly discussed the above Motivation theories, highlighting their relevance and contributions to this present study.

2.2.1 David McClelland Acquired Needs Theory (1961)

Among the early approaches that focus on specific needs is the three needs theory. McClelland (1961) suggested that employees differ in their needs for achievement, affiliation and power.

Need for Achievement: This includes personal responsibility, feedback, and moderate risk.

Need for Affiliation: Acceptance, friendship, cooperation and teamwork

Need for power: Influence, authority and competition. David McClelland's ((1987) motivation theory suggests that people are differently motivated towards achievement, power, affiliation and avoidance, where the achievement motive is key to McClelland's view of economic development. Such achievement involves the creation of more efficient ways of doing things and solving problems, the preference for tasks which reveal successful performance, and the taking of personal responsibility for performance (Jackson and Bak, 2018).

Need for achievement: refers to individual tendency to seek and accomplish tasking assignment or engagement in order to show their competence. Moreover, need for achievement had been found to be related to self-related personal initiative at work (Frese, Ray, Hiburger, Leng, and Tag , 2017). Need for affiliation refers to individual evaluation of social interaction with others (colleagues, supervisors:.. Employees with high need for affiliations are workers that believe in work groups or teamwork. A related concept is need to belong which refers to individual-tendency to build and maintain inter-personal relationships. The need for power refers to dominance or interest in influencing others. Thus, persons with high need for power are motivated by supervisory roles or needs for management positions.

2.2.2 Abraham Maslow's Hierarchy of Needs Theory (1943)

Perhaps, the most prominent multiple classifications of human needs are Maslow's (1943) hierarchical model that postulates five level of needs as determinants of human behaviour. Arranging them in ascending order, Maslow identifies the lower level needs as deficiency need that generates tension and a drive to act when they are not satisfied. By not attending to such needs it can lead to death.

As reported by Ogunrin, Ogunrin and Akerele (2007) Kenyon (2024) stated that Maslow (1943) conceptualized five human needs arranged in an ascending order of importance, although some authors point out that from the start, Maslow talk of seven levels of needs with management texts blamed for erroneously popularizing five. Latter needs theories are believed to be modifications of Maslow's work, with differences centred on number and ordering of needs (Huit, 2023). According to Maslow, a lower need is pre-potent over the next higher need, that is, it must be satisfied first, but that anytimea previously satisfied need becomes deficient, individuals again act to remove the deficiency (Accel-Team.com, 2025). In other words, it is an unsatisfied need that directs behaviour, and observed behaviour may be motivated by more

than one need (Sondak, 2020). Maslow's hierarchically ordered needs fall into two main groups: deficiency needs and growth needs. The four deficiency needs are physiological needs, safety and security needs, belongingness and love (social) needs and esteem needs.

Physiological needs pertain to sustenance of human life: water, shelter, food, medicine, and so on. Safety/security needs are psychological in nature and include the need to be free from physical harm by loss of a job, property, food or shelter, and need for protection against emotional harm (Gwynne, 2017). Belongingness (social) needs are the needs for affection of a non-sexual nature; the desire to belong to clubs, work groups, religious groups, family and gangs. Esteem needs pertain to the desire to be counted as worthy, both by oneself and by others. Hence, there are two types of esteem needs - internal esteem needs comprising self-respect, autonomy and achievement, and external esteem needs comprising status, recognition and attention (Ogunrin, Ogunrin and Akerele, 2017).

Summarily, the five stages of Maslow's hierarchy of needs, which is, physiological need is the broadest stage which includes the need for food, shelter, clothing, physical comfort etc., this stage provides the basis of life. The second level is safety/security need; this involves avoidance from danger, threat and deprivation. It also involves physical and job security. Social needs are third with the need for affection, belonging and social contact. The fourth level is self-esteem which involves need or desire for recognition, appreciation and respect from others. The final and the highest is self-actualization. It is categorized as growth need. It is defined as one's full human potential. This stage presents the biggest leadership challenge as it is difficult for organizations to provide an environment for this stage.

According to Maslow, higher-order needs such as self-esteem or social needs should determine behaviour only when lower needs are satisfied. So workers move up and down the pyramid during their employment experience. Due to the heuristic plausibility of Maslow's model, it is still popular particularly among managers and consultants. However, the main merit of the model is its normative and philosophical statement about the general values of work and organizational psychology as a whole, directing the attention to personal growth and self-actualization as an important need of employee and organizations possibilities to meet them (Muchinsky, 2023).

2.2.3 ERG Theory

The ERG theory is formulated by Clayton Alderfer. This can be seen as an upshot or summary of the famous Abraham Maslow's theory of needs. The theory assumes that why do people behave the way they do, what motivates people to act. In the process the theory asserts that all that people do is motivated by needs and those needs can be grouped based on their importance. The assumption is that people meet the need that is most important before putting energy on the next most important need in the next or second group and then to the third group.

This theory as can be seen is in resemblance to the Abraham Maslow's theory as the existence needs can be compared to physiological needs and relatedness to self esteem and finally growth needs to self-actualization. The term ERG can be related to the form of energy as it can be seen from the theory how it believes in exerting energy to one specific need before putting it to the next group.

2.2.4 Douglas McGregor's Theory X and Y (1960)

Douglas McGregor (1960) in his book 'The Human Side of Enterprise' examined theories on behaviour of individuals at work and formulated two models which he calls theory X and Y.

Theory X Assumptions

Because of individuals dislike for work, most people must be controlled or be threatened before they can work hard enough. The average human prefers to be directed, dislikes responsibilities, is ambiguous, and desires security above everything. These assumptions lie behind most organizational principles today and give rise both to tough management with punishments and tight controls, and then soft management which aims at harmony at work. Both of this are wrong because man needs more than financial rewards at work, he also needs some deeper higher-order motivation that is the opportunity to fulfil him. Theory X managers do not give their staff this opportunity so that the employees behave in the expected fashion.

Theory Y Assumptions

The expenditure of physical and mental effort in work is as natural to play or rest. Control and punishment are not the only ways to make people work, man will direct himself if he is committed to the aim of the organization. The average man learns under proper conditions not only to accept but to seek responsibility. Imagination, creativity ingenuity can be used to solve work problems by a large number of employees. Under the conditions of modern industrial life, the intellectual potentialities of the average man are only partially utilized.

2.2.5 Expectancy Theory

Based on the earlier works of Lenin (1935), Victor Vroom (1964) created the expectancy theory. The premise of this theory was that felt needs cause behaviour and this motivated behaviour in a work environment if a person perceived a positive relationship between effort and performance.

Vroom's theory assumes that a behaviour results from choosing among alternatives whose purpose was to maximize pleasure and minimize pain. The key elements of this theory are expectancy (perception of reward) and valence (emotional orientation i.e. extrinsic and intrinsic value). Vroom concluded that motivated behaviour was increased if there was a positive relationship between good performances. As a consequence, he identified three relationships that enhance motivated behaviour. They are: there is a positive relationship between desired performance and rewards and the achievement of valued outcomes or rewards. This theory identified the link between effort and performance and the link between performance and valued outcomes. It pointed out that people exerted effort expended would result in a desired performance reward. The theory outlines three conditions to be present or available or to be met before individuals can exhibit a sense of motivated behaviour:

- i. The effort to performance expectancy must be greater than zero level;
- ii. The performance to outcome expectancy must be greater than zero;
- iii. The sum of the valence for all relevant outcomes must be greater than zero.

2.2.6 Equity Theory

Adams (1965) created the equity theory, he contended that people want to receive equitable reward and compensation for their work. He asserted that if people felt they were not treated equitably in the work environment, they were dissatisfied with their job (Evans, 2024). The equity theory contends that employees in an organization believe or live on the perception of how fairly they are treated in their work. The theory assumes that workers should be treated

fairly based on the amount of performance or effort they put towards the accomplishment of their task. Employees look down at the way and manner to which they are treated compared to their peers and hence determine their level of motivation and effort to be putting in their work. Adams (1965) contends that motivation is a consequence of inequity. The theory emphasizes that employees make comparison to which the outcome determines the effort they put to the inputs needed to achieve their target of outcome. This can be seen as the level of inputs and output. The level of experience, education, and effort can be referred to as the input while the outcomes can be promotion, pay and benefits. By the time inputs are not in the same range with the other, a sense of inequity exists.

Adams contend that the state of equity can be referred to as when the ratio of persons outcomes or inputs is equal to another person's outcomes and inputs. For example, a person expects to receive the same entitlements with his peer of the same experience and qualification but there is a difference, the other will feel a sense of inequity.

A sense of inequity according to Adams (1965) brought about tension that motivates people to bring equity in four ways i.e. altering effort, altering outcomes, changing how people think and finally quit. Although the theory is criticized not to have precisely characterized mental process because it assumes that humans always make mental list of outcomes and compares them their own way.

2.3 THEORETICAL FRAMEWORK

In this study, the researcher adopted Abraham Maslow's hierarchy of Needs Theory as the theoretical framework upon which the assessment of the impacts of employee motivation on organizational performance of selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria was based. According to Robbins (1998), Maslow's theory is based on two assumptions: That different needs are active at different times, and only needs not yet satisfied can influence behaviour and that needs are arranged in a fixed order of importance called a hierarchy. The need to satisfy leads to motivation to work in order to satisfy that particular need. Once that need has been satisfied then there must be an appeal to satisfy the next level of need to again be motivated. This theory is relevant to this study as there are many things organizations including the Nigerian manufacturing sector do to meet the set of needs identified by Maslow. The Nigerian manufacturing sector try to satisfy the physiological needs of the adoption of Maslow's hierarchy of needs by paying their salaries, money that can be exchanged for food, shelter and clothing. But there is more to satisfying physiological needs than giving employees a pay check. There are also coffee breaks and opportunities to rest. For instance, bonuses are awarded to those that made suggestions that improve the organization. A genuine thank you can also be enough recognition to foster respect and self esteem. Finally, self-actualization needs are satisfied via opportunities to training and advancement. In this regard, Managers of manufacturing firms are encouraged to regularly engage in staff training and management development in order to improve their skills acquisition and boost their morale and confidence in the organization.

Despite the criticisms of this theory, a number of reasons justify the adoption of Maslow's theory in this study. First, Maslow's theory provides excellent guidance with respect to the needs that workers are motivated to achieve. Second, many organizations have taken actions directly suggested by the theory, and have found them to be successful. For this reason, the theory remains with organizational practitioners. Third, it provides insight into the importance

of recognizing human needs in the workplace. Fourth, the theory has had a significant impact on management approaches to motivation and the design of organizations to meet individual needs. Lastly, it is a convenient framework for viewing the different needs and expectations that people have, where they are in the hierarchy, and the different motivators that might be applied to people at different levels. The need of hierarchy model provides a useful base for the evaluation of motivation at work.

2.4 EMPIRICAL REVIEW

Previous studies on the level of staff motivation and job performance in the profit and non-profit organizations have yielded differing results. A study by Eze (2025) revealed that there is significant difference between the high-order motivators and the lower-order motivators and that being preoccupied with the motivators in one set would inhibit the urge to satisfy the motivators in the other set. The lower-order motivators (e.g. human physiological needs such as needs for food, clean water, clothing, shelter, and sex/marriage) are basic to Nigerian workers and more prominent than the higher order motives (Eze, 2025). The study support the above findings as a critical look at the work environment in Nigeria shows that most workers are preoccupied with how to meet their basic needs. This is why salary review has been a recurring decimal in an attempt to reform both the public and private sectors for effective performance.

A study conducted by Gunu (2023) revealed that employees of the Kwara State Government, Nigeria were dissatisfied with their physiological needs (e.g. salary). Accordingly, Karwai (2025) argued that as long as the human basic needs (or lower-order .motivators) remains the major problem of workers in Nigeria, the quest for money which is the ultimate means of acquiring goods and services through whatever means (e.g. corruption, fraud, thuggery, militancy, robbery) will remain the order of the day and as such, a serious societal problem. Gunu (2023) established employees' satisfaction with their esteem needs (e.g. promotion) , and safety needs (e.g. work itself). High level of staff motivation and job satisfaction was found to exist among the employees of an agribusiness in Zaria, Nigeria.

Isaac (2018) observed poor attitude to work among workers in the private sector of Akwa Ibom State, Nigeria, which instigated him to probe into causes of such behaviour.

His study revealed low motivation among the staff, and high absenteeism from work, low punctuality to work, indolent at work, and fraudulent behaviour. Furthermore, a significant relationship was established between motivation and employees' punctuality at work, motivation and indolent behaviour and fraudulent behaviour, and motivation and absenteeism (Isaac, 2025). Abejirinde (2019) used two motivational indicators, namely growth and promotion, to determine the level of staff motivation and performance in the Nigerian public and private sectors. He established high rate of growth and promotion opportunities for the employees in both private and public organizations. He equally established high rate of job performance among the staff.

As stated by Ogunrin, Ogunrin and Akerele (2017), Maduabum, (1990) and Odiaka (1991) reported that a number of authors have examined the work attitudes of Nigerian workers and concluded that these workers, especially those working within the public sector, possess very poor attitudes. Adomi and Eruvwe (2024), also quoted that Akerele (1990) in his study of work attitudes of junior workers in a Nigerian university discovered that the general attitude of junior workers in Nigerian public service reinforces absenteeism, lateness to work, uncooperativeness at work, low concern for public property and low organizational identification, and suggested that positive work orientation could be internalized through comprehensive training program to

create awareness and introduce attitudinal change externally by parent organizations. Although this study concurs with the findings of the authors above, it goes further to state that the authors failed to identify the cause of poor work attitude in the public sector. In the researcher's view, lack of adequate motivational techniques is one of the major causes of poor work attitude in the public sector.

Beckey and Cample (2020) state that part of the benefits of training, is that it motivates employees because they are able to effectively undertake their work. They also describe employees' development as the general enhancement and growth of an individual's skills and abilities through conscious and unconscious learning. Staff development therefore ensures that employees in the organization have the knowledge, skills and competency required to carry out work effectively. According to Ogunna (2022), the government of Nigeria has not had a comprehensive policy to guide staff development. Training in the public service has been guided by discrete policy guidelines contained in various government documents, which include administrative circulars, personnel and general letters, reports and other publications issued to the service from time to time. Training needs assessment and evaluation have not been undertaken with the resultant effect of minimal impact of training on work performance and motivation of employees. The government also does not have a policy to manage career advancement programmes for employees in the public service let alone in the private sector.

A survey of research findings on work motivation have generally suggested that intrinsic rewards are ranked as better motivators than extrinsic rewards (Kowach, 2017; Harpaz, 2020, and Lindner, 2018). The reason for this, however, is not farfetched. In the developed industrialized countries where majority of these researches are conducted, satisfaction of the basic needs of life such as food, shelter, etc, are taken for granted by a large majority, hence emphasis has shifted from the extrinsic factors such as interesting work, achievement, recognition, challenge and self-actualization. The same, however, cannot be said for less developed and developing world, such as Nigeria.

In a study by Aworemi et al (2021), good wages were ranked as third motivator by the respondents. Two hundred and thirty-two respondents (82.9%) strongly agreed that good wages enhance their performance while the remaining 48 respondents (17.1%) partially agreed. Further analysis of the good wage system shows that regular payment of salaries and leave bonuses, transport and housing allowance, annual salary increment, meal subsidy, and regular promotion opportunities are very crucial and important in motivating employees. This study corroborates the finding of Popoola (2022), Ekerete (2010), Ekhaton, (2023) that Nigerian workers have a high aspiration for money and wealth and are only motivated to perform by financial incentives. The present study supports the above findings. It must be observed that the emphasis Nigerian workers place on money as a motivator does not only consist of the need to satisfy basic needs but also from the culture of the people that conceive it to be a source of dignity and self-worth.

2.5 GAPS IN LITERATURE

Having reviewed the literature related to the impacts of employee motivation on the performance of the Nigerian manufacturing sector, adopting Lagos State as case study, the researcher was privileged to identify any previous works that were as comprehensive, detailed and impactful as this present study. The present work therefore is a ready document to the academia, business organizations and government functionaries in terms of providing a policy

document to make effective regulation for employee motivations in organizations. Again, the researcher was not privilege to identify any previous works carried out on the impacts of employee motivation on the performance of the manufacturing sector in Lagos State, Nigeria. Hence, this present study attempted to fill this all-important gaps in literature, and thereby contributing to the body of knowledge.

2.6 SUMMARY OF REVIEWED LITERATURE

This section chronicled the review of related literature on the impacts of employee motivation on performance of selected SMEs in Lagos State, Nigeria. The section was sub-divided into five (5) major sections. Firstly, is the conceptual review detailing the definitions, explanations and review of basic concepts as relating to the subject matter. Secondly, is the theoretical review, chronicling the theories of employee motivation that anchors the study. Thirdly, is the theoretical framework, identifying the particular theory that directly underpinned the study. Fourthly, is the review of related previous empirical works that is in tandem with this present study. Finally, is the identification of gaps in literature, filling important gaps in the body of knowledge in this subject matter.

3.0 METHODOLOGY

3.1 Preamble

This section focused on the method that was used in collecting and analysing data for the study. These include: research design, types and sources of data, population of the study, sampling technique/sampling size, as well as method of data presentation and analysis.

3.2 Research Design

The descriptive survey research design method was used in this study. It involved using a self-designed questionnaire in collecting data from the respondents. This method was chosen in order to make reference to phenomena as they exist in real life and it is relatively economical in terms of time and resources.

3.2 Sources of Data

Primary and secondary data were used in this study. Primary data which consisted of firsthand information were obtained from the structured questionnaire, and intensive interviews. Secondary data were collected from published and unpublished materials like text books, research reports, journals, magazines, newspapers, periodicals as well as articles on the internet.

3.3 Population of the Study

The population of the study was a finite one consisting of the entire staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. They include Emzor Pharmaceuticals, Isolo, Oshodi Expressway; PZ Zochonis Drugs Manufacturing Company, Alausa Ikeja, and PAL Breweries PLC, Iganmu, Lagos. The population of the study as at the time of this study was one hundred and fifty six (156).

3.4 Sampling Techniques/Sample Size

The probability sampling method was adopted in this study. Specifically, the simple random sampling technique which is a variant of the probability sampling method was used in selecting the sample size.

The simple random sampling is a basic sampling design, which allows equal representation and selection of samples. The selection of the sample was done in such a way to include all categories of workers (senior staff and junior staff) and it cut across gender. This was done in anticipation that such a sampling of respondents will provide the necessary variety of information required of this study. A sample size of 100 (64%) was chosen. The sample size was determined using simple percentage formula which states thus;

$$\frac{100}{156} \times \frac{100}{1} = 64\% \quad \text{or} \quad \frac{64}{100} \times \frac{156}{1} = 100$$

3.5 Method of Data Presentation and Analysis

The researcher used tables in presenting the data collected in the course of this study. Simple percentage was used in the analyses while the hypotheses formulated for this study were tested with the aid of Chi square (X²) statistic.

4.0 DATA PRESENTATION AND ANALYSIS

4.1 Data Presentation

This section focused on the presentation and analyses of the data obtained from the respondents that constituted the sample size of the study. The population of the study was one hundred and fifty six (156) staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. The sample size was made up of one hundred (100) staff of the manufacturing firms involved as shown on table 4.1.

A total of one hundred (100) questionnaires were administered to the staff of the selected manufacturing firms. Out of this, ninety four (94) questionnaires were administered to the staff of the selected manufacturing firms. The data obtained from the respondents were presented and analyzed as a single unit.

Table 4.1: Respondents Population

Organization	No. of Staff	Sampled Response	Percentage (%)
Emzor Pharma	40	100	25.6
PZ Zochonis	56	100	36.0
PAL Breweries	60	100	39.4
Total	156		100.0

Field Survey, 2025

Table 4.1 shows that out of 156 staff of the selected firms, 100 respondents (100%) was sampled.

Table 4.2: Sex Population of Respondents

Sex	Male	Female	No. of Respondrnts	Percentage (%)
Emzor Pharma	25	15	40	25.6
PZ Zochonis	40	16	56	36.0
PAL Breweries	35	25	60	39.4
Total	100	56	156	100.0

Source: Field Survey, 2025

Table 4.2 indicated 100 respondents representing 64% were males while 56 respondents representing 36% were females. The essence of including sex in the analysis was that the researcher believed that the factors which motivate females may vary from the ones that induce males at the workplace.

Table 4.3: Age Distribution of Respondents

Age Range	No. of Respondents	Percentage (%)
25-34	13	14.0
35-44	41	44.0
45-54	24	25.0
55-64	16	17.0
65 and above	0	1.0
Total	94	100.0

Source: Field Survey, 2025

Table 4.3 revealed that 13 (14.0%) respondents were within the age bracket of 25-34 years, 41 (44%) respondents fall within the age range of 35-44 years, 24 (25%) respondents were within age bracket of 45 - 54 , 16 (16%) were within the age bracket of 55-64 while 5 (1.0%) were between 65 and above. Age is considered to be a factor in motivation. What motivates people of different ages at any given time varies.

4.2 Data Analysis

The category of responses used in the analysis include SA - Strongly Agree, A - Agree, UD = Undecided, D - Disagree and SD = Strongly disagree. In line with the Likert scale of analysis, the responses are ranked as follows: SA - 5, A - 5, UD - 3, D - 2, SD - 1.

Table 4.4: Workers' skills, abilities in relation to level of competence on the job

Options	No. of Respondents	Sanpled Response
SA	42	42
A	39	39
UD	0	0
D	8	8

SD	5	5
Total	94	94

Source:Field Survey, 2025

Table 4.4 indicated that 42 (45%) respondents strongly agree that more skills and abilities increases a worker's level of competence while 8 (9%) respondents disagree with the proposition and 5 (5%) respondents strongly disagree that skills and abilities on the part of the workers do not correlate with the level of competence on the job. Majority of the respondents were of the view that workers with greater skills and abilities perform their tasks more competently than others. Some of the respondents interviewed believed that inadequate knowledge of one's task lowers morale and result in poor performance.

Table 4.5: Seminars, workshops and course impact on employee performance in Nigeria's manufacturing firms

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	44	47%
UD	30	32%
D	3	3%

SD	7	7%
Total	94	100%

Source: Field survey, 2025

Table 4.5 indicated that 44 (47%) respondents strongly agree that training in the form of seminars, workshops, and courses impact positively on employee performance on the job, 30 (32%) respondents agree to the statement while 10 (11%) respondents were undecided while 3 (3%) respondents disagree with the proposition and 7 (7%) respondents strongly disagreed. Organizations that implement learning environments have low employee turnover, which makes it difficult for outsiders to become hired. Learning opportunities increases a person's desire to excel and learn new skills, it develops positive self-esteem and self-prides just to name a few attributes (Ikpeazu, 2019).

Table 4.6: Prompt payment of salaries and workers motivation impacts on higher performance

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
---------	--------------------	-----------------

SA	50	55%
A	20	21%
UD	2	02%
D	12	13%
SD	10	11%
Total	94	100%

Source: Field Survey, 2025

The result of the analyses on Table 4.6 showed that 50 (55%) helps to motivate workers for higher performance, 20 (21%) respondents agree with the view, 2 (2%) respondents were undecided on the issue, while 12 (13%) respondents disagree, majority of the respondents believed that regular and prompt payment of salaries help to motivate workers and induce good performance. Perhaps, the most basic element of motivation in an organization is the salary which a worker takes home. This is in accordance with Maslow's hierarchy of needs theory. Salary helps to satisfy the very basic needs of an individual which includes food, clothing and shelter (Johns, 2023).

Table 4.7: Financial rewards impacts on job performance habits

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	55	59%
A	24	25%
UD	5	5%
D	10	12%
SD	-	-
Total	94	100%

Source: Field Survey, 2025

As the result of the analyses in table 4.7 indicate that 55 (59%) strongly agree that financial rewards such as bonus, leave allowance and grants enhance workers performance and reduces apathy, indiscipline and grievances among staff, 24 (25%) respondents agree to the view, 5 (5%) respondents were undecided on the view, while 10 (11%) respondents disagree with the view that financial rewards improves performance and reduces negative work habits.

Table 4.8: Welfare programme and motivation of workers impact s on better performance in the selected manufacturing firms

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	27	29%
A	38	40%
UD	9	10%

D	12	13%
SD	8	8%
Total	94	100%

Source: Field survey, 2025

Table 4.8 showed that 27 (29%) respondents strongly agree that welfare programmes for staff housing and health insurance schemes boost workers morale in doing their job, 38 (40%) respondents agree to the same view, and 8 (10%) respondents strongly disagree. According to some of the respondents interviewed the organizations has elaborate welfare packages that cover these areas and these boost their morale and encourage good performance. Housing schemes enable a worker to satisfy one of the basic needs - shelter. Thus, organizations that make provision for welfare packages like the ones mentioned here are considered to be considerate and sympathetic to the cause of their workers, hence, workers in turn display high level of commitment to organizational objectives.

Table 4.9: Recognition impacts on employee performance in the selected manufacturing firms

Options	No. of Respondents	Percentages (%)
SA	47	50%
A	37	39%
UD	10	11%
D	-	-
SD	-	-
Total	94	100%

Source: Field survey, 2025

As the results of the analyses on table 4.9 indicated, 47 (50%) of the respondents strongly agree that recognition in the forms of praises, thank you, merit awards, commendation letters, and banquets in honour of workers with outstanding performance do motivate and induce workers to perform more better on the job, 37 (39%) respondents agree to the same view and 10 (11%) respondents were undecided on the issue.

4.2 Test of Hypotheses

Two hypotheses formulated for this study were tested here.

Ho1: There is no significant relationship between financial incentives and work habits for staff in the selected manufacturing firms in Lagos State

Ho2: There is no significant relationship between financial incentives and work habits for staff in the selected manufacturing firms in Lagos State.

We employed the chi-square (χ^2) analytical method to test and analyze the hypotheses as stated above,

$$\chi^2 = \frac{\sum (O - E)^2}{E}$$

Where χ^2 = chi-square

O = Observed frequency

Ef = Expected frequency

Z = Summation sign

To test these hypotheses, the researcher selected relevant questionnaire items from the corresponding section.

To test the first hypothesis, data in tables 4.4 and 4.8 were used,

The data obtained by these questionnaire items were tabulated into a contingency table.

Table 4.10: Test of Nypotheses (1) continenct table

Options	Data		Total
	Rable 4.4	Table 4.8	
SA	42	60	102
UD	0	5	68
D	8	0	5
SD	5	0	5
Total	94	94	188%

SourceL Field surveyem 2025

The next logical data was to calculate Ef *Expected frequencies) for the already observed freuencies (of) labelled 1,2 ... 10 in an italic format in the table.

$$E1 = \frac{102 \times 94}{188} = 51$$

$$E2 = \frac{68 \times 94}{188} = 34$$

$$E5 = \frac{5 \times 94}{188} = 3$$

$$E6 = \frac{102 \times 94}{188} = 51$$

$$E7 = \frac{68 \times 94}{188} = 34$$

$$E8 = \frac{5 \times 94}{188} = 3$$

$$E9 = \frac{8 \times 94}{188} = 4$$

$$E_{10} = \frac{5 \times 94}{188} = 3$$

Applying the formula $X^2 = \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$

$$X^2 = \frac{(42 - 50)^2}{51} + \frac{(38 - 34)^2}{34} + \frac{(0 - 3)^2}{3} + \frac{(8 - 4)^2}{4} + \frac{(5 - 3)^2}{3} + \frac{(60 - 51)^2}{51} + \frac{(29 - 34)^2}{34} + \frac{(5 - 3)^2}{3} + \frac{(0 - 4)^2}{4} + \frac{(0 - 3)^2}{3}$$

$$X^2 = 1.5 + 0.7 + 1 + 4 + 1.3 + 1.5 + 0.7 + 1.3 + 1 + 3 = 16$$

$$X^2 = 16$$

Next, We shall calculate the degree of freedom (df)

$$(df = (r - 1)(c - 1))$$

Where:

df = degree of freedom

r = the number of rows

c = the number of columns in the contingency table 4.8

$$df = (5 - 1)(2 - 1) = 4 \times 1 = 4$$

At 5% (0.05) level of significance, when df = 4, the corresponding value of x^2 on the critical table of x^2 values = 9.49

Decision

Since the calculated value of x^2 (16) is greater than the critical value of x^2 (9.49), we reject the null hypothesis (H_0) and accept the alternate hypothesis (H_1), which would state thus: There is a significant relationship between training and increased competence for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

Table 4.11: Test of hypothesis (2) contingency table

Options	Data		Total
	Table 4.6	Table 4.7	
SA	50	55	105
A	20	24	44
UD	2	5	7
D	12	10	22
SD	10	0	10
Total	94	94	188%

The next logical step was to calculate E_f (Expected frequencies) for the already observed frequencies (o_f) labelled 1.2 10 in an italic format in the table.

$$E1 = \frac{105 \times 94}{188} = 53$$

$$E2 = \frac{44 \times 94}{188} = 22$$

$$E5 = \frac{10 \times 94}{188} = 5$$

$$E6 = \frac{105 \times 94}{188} = 53$$

$$E7 = \frac{44 \times 94}{188} = 22$$

$$E8 = \frac{7 \times 94}{188} = 4$$

$$E9 = \frac{22 \times 94}{188} = 11$$

$$E10 = \frac{10 \times 94}{188} = 5$$

Applying the formula $X^2 = (O_f - E_f)$

$$\begin{array}{cccccc}
 & & & & & E_f \\
 & & & & & \dots\dots\dots \\
 X^2 = & (50 - 53)^2 & (20 - 22)^2 & (2 - 4)^2 & (12 - 11)^2 & ((10 - 5)^2 & (55 - \\
 & & & & & & 53)^2 \\
 & \dots\dots\dots & + & \dots\dots\dots & + & \dots\dots\dots & + & \dots\dots\dots \\
 + & \dots\dots\dots & & & & & & \\
 & 55 & & 22 & & 4 & & 11 & & 6 & & 53
 \end{array}$$

$$+ \frac{(24 - 22)^2}{22} + \frac{((5 - 4)^2}{4} + \frac{(10 - 11)^2}{11} + \frac{(0 - 5)^2}{5} + \dots$$

$$X^2 = 0.16 + 0.18 + 1 + 0.09 + 5 + 0.07 + 0.18 + 0.25 + 0.09 + 5 = 12$$

Next, we shall calculate the degree of freedom (df)

$$df = (r - 1)(c - 1)$$

Where

df = degree of freedom

r = the number of rows

c = the number of columns in the contingency table

$$df = (5 - 1)(2 - 1) = 4 \times 1 = 4$$

At 5% (0.05) level of significance, when df = 4, the corresponding value of χ^2 on the critical table of χ^2 values = 9.49

Decision

Since the calculated value of χ^2 (12) is greater than the critical value of χ^2 (9.49), we reject the null hypothesis (H_0) and accept the alternate hypothesis (H_1), which would state that there is a significant relationship between financial incentives and work habit for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

4.3 Major Findings

The major findings of this study were as follows:

1. There was a significant relationship between training and increased competence for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State. The greater the training, the higher the level of workers performance and competence on the job. Training and development is used by many organizations to enhance the motivation of their employees. The availability of training and development opportunities is a motivating factor for employees in the organization. Beardwell and Holden (2024) indicate that the emphasis on training in recent years has led to many organizations investing substantial resources in employee training and development. Through training employees acquire more skills and capabilities to provide high quality service.
2. There was a significant relationship between financial incentives and work habits for staff of the selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. Provision of adequate financial incentives enhance positive work habits. This finding corroborates that of Berjum and Lehr (2022) which showed that subjects who received individual financial incentives performed better than those who did not receive. And workers exhibited productive work behaviour when monetary rewards were made contingent upon performance.
3. Recognition of good performance enhanced successful completion of tasks by employees. Recognition lets the staff know that their work is valued and appreciated. This gives an employee a sense of belonging and ownership at the workplace, improves morale and increase motivation.

5.0 SUMMARY, CONCLUSION AND RECOMMENDATION

5.1 Summary

This study had assessed the impact of employee motivation on workers performance in the selected manufacturing firms in Lagos State of Nigeria. Motivation in this study was viewed as an innate force, shaped and maintained by a set of highly individualized factors that may change from time to time depending on particular needs and motives of the employees. Motivation is a product of multiple interacting factors which may be intrinsic or extrinsic to the employees. The motivational factors considered in this study were training, recognition and financial incentives. Their impact on workers performance was assessed.

The survey research designed was employed in the collection of and analysis of data for the study. The results of the analyses showed that financial incentives had significant effect on the work habits of employees of the selected manufacturing firms in Lagos State of Nigeria. Also, training in the form of coaching, counselling, mentoring, seminars and courses had significant effect on employee performance on the job. Thus, the provision of adequate training and financial incentives would help to improve the performance of workers of these selected manufacturing firms in Lagos State, Nigeria.

5.2 Conclusion

Human resources are the livewire of any organization. Its effective management is therefore crucial and central in the realization of organizational objectives such as high performance. The provision of efficient and effective services that meet the expectation of the citizenry is the goal of every private and public organization involved in service delivery. Motivation is an indispensable element in an organization used to stimulate workers for higher performance and effective service delivery.

In today's world, employees' needs have also been intensified. Since employees are an organization's most important resource, satisfying and retaining employees has become a major focus for managers and leaders of organizations. To do this effectively, managers must keep their employees motivated so that their talented employees stay in the organization and perform at their best.

There are many different ways of motivating employees. Every motivation theorist comes up with a different approach. Motivators differ from employees to employee, and also differ according to the organization. To do their job effectively, managers and leaders of organizations need to take time and effort to understand what their employees are looking for in their work and try to meet these needs and wants to the best of their ability.

The provision of adequate training and financial incentives to workers will enhance their performance and the quality of service they provide in the organization.

5.3 Recommendations

In line with the findings of this study, the following are recommended.

1. Manufacturing firms should expand its training programmes and career development opportunities to enable the workers acquire greater skills and perform more effectively.
2. Financial incentives should be provided to the staff of manufacturing firms on regular basis to enhance positive work behaviour and better performance.

3. The management of these manufacturing firms should always ensure the recognition of good performance through praises, appreciation letters, merit awards and other means to boost the morale of staff and enhance performance.

REFERENCES

- Adomi, E. E., Eruvwe, J. (2024). Staff discipline in nigerian university libraries. *Library management*, 223-229.
- Armstrong, M. (1999). *Human Resource Management* (7th ed). London: Kogan Page.
- Armstrong, M. and Muris, H. (2004). *Reward Management: A Handbook of Remuneration Strategy and Practice*, 5th Ed. London: Kogan Page.
- Aworemi, J. Et al (2011). 'An Interest' . *Journal of Economics and Finance*, Fol. 3, No. 5, October 2011.
- Buckley, R., & Cample, D. (2020). *Theory And Practice of Training*. London: Kogan Page.
- Ekakite, E. (2020). "GSM Firms: wHAT Manner of Competition?" the Enterprise, *International Research Journal for Development* Vol. 7, No. 5
- Eze, N. (2025). *Human Resource Management in Africa*, Lagos: Zomex Press
- Greenberg, J., Baron, R. A. (2020). *Behaviour in Organization* (7th ed.), Upper Saddle Rive, New Jersey: Prentice-Hall
- Greenberg, J. & Baron., Robert, A. (2023). *Behaviour in Organizations: Understanding and Managing The Human Side of Work.*, (5th Ed) New Jersey: Prentice-Hall.
- Gunu, U. (2023), *Job Satisfaction Among Staff of Selected Public Enterprises in Kwara State*, *The Abuja Management Review*, Vol. 1, No. 3, pp. 219-228.
- Huit, W. (2017). *Maslow's Hierarchy of Needs*, Educational Psychology Interactive, Valdosta, G. A: Valdosta State University.
- Ikpeazu, O. (2019). *Enhancing Work Performance in the Nigerian Civil Service*: Aba: Achugo Publishers
- Isaac, A. (2018). *Motivating Civil Servants for Higher Productivity*. *Journal of Business Management*, Vol. 2, No. 1 & 2, pp. 54-68.
- Karwai, S. A. (2015). *Motivation and Frustration in Organizations*, *Journal of Management and Social Sciences*, Vol. 10, pp. 97-105.
- Kelech, B. (2003). *Evaluation of Career Development Programmes in the Abia State Civil Service: A Study of Selected Ministries*. Unpublished M.Sc Thesis. Faculty of Social Sciences, IMSU, oWERRI.
- Kreitner, R., & Kinicki, A. (2018). *Management* (6th ed.). Boston: Irwin/McGraw Hill.
- Kreitner, R. (2025). *Management* (6th ed.). Boston: Houghton, Mifflin Company.
- Lindner, J. R. (2018). 'Understanding Employee Motivation'. *Jpornal of Extension*, 36(3).
- MANforum (2019). It's Always About The Boss, *THE MAN GROUP MAGAZINE*, Issue 03/2019, pp. 10-13.
- McClelland, D. C. (1961). *The Achieving Society*, New York: General Learning Press.
- McGregor, D. (1960). *The Human Side of Enterprise*. New York: McGraw-Hill.
- Nzuve, S. N. M. (2019). *Elements of Organizational Behaviour*, Nairobi: Tech and Pro AssociatesPublishers.
- Ogunna, F. O., Ogunrin, O., & Akerele, A. (2017). *Motivating Nigerian Doctors for Improved Healthcare Delivery*. *International Journal of Healthcare Quality Assurance*, 290-306.
- Rainey, G. (2021). *Work Motivation*, in R. T. Golebiewski (ed.), *Handbook of Organizational*

- Behaviour, pp. 19-39, Marcel Dekker.
- Robbins, P. S. (2009). *Organizational Behaviour* (10th ed) New Jersey: Prentice-Hall.
- Robbins, S. P. (1998). *Organizational Behaviour* (8th ed), New Jersey: Prentice-Hall
- Robinson, J. (2020). Disengagement Can Be Really Depressing, Gallup.
- Schl, R. W. (2016). Differentiating from Expectancy as a Motivating Factor. *Academy of Management Review* 6: 589-599.
- Tosi, H. L., Rizzo, J. R. and Carrol, S. T. (2016). *Managing Organizational Behaviour* (3rd ed.) Massachusetts: Blackwell Publishers.
- Ubong, U. (2009). *Motivation and Performance in the Cross River State Civil Service*. Unpublished M.Sc Thesis, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Anambra State.
- Unanka, F. M. (2009). 'Assessment of Motivational Techniques in Imo State Transport Corporation.' Unpublished M.Sc Thesis, Faculty of Social Sciences, Imo State University, Owerri.
- World Bank (2009). *World Development Report 2004*. Washington DC: World Bank.

AN APPRAISAL OF SUCCESSION PLANNING IN FAMILY-OWNED BUSINESSES IN NIGERIA: EMPIRICAL EVIDENCE FROM SELECTED SMEs IN LAGOS STATE, NIGERIA

DR. CHUKWUEMEKA G. EME (PhD)

Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National
Open University of Nigeria (NOUN), Jabi – Abuja, Nigeria

ABSTRACT

Family-owned businesses in Nigeria and other nations of the world play important roles in economic growth and development some of which include creation of employment opportunities, maintenance of competition, stimulation of indigenous entrepreneurship, wealth creation, innovations and creativity, foreign exchange earnings, mobilization of savings, and contribution to the GDP. Despite these vital roles, family-owned enterprises in Nigeria are faced with the problem of succession as about 95% of family businesses do not survive the third generation of ownership. Hence, this study conducted an assessment of succession planning in family-owned businesses in Nigeria drawing empirical evidence from some selected SMEs in Lagos State. Management succession planning in family-owned businesses in Nigeria were studied to determine how family-owned businesses manage succession and continuity of family-owned businesses in Nigeria, with the aim of identifying the factors preventing smooth succession in family-owned enterprises. Data were elicited from questionnaire administered. The study adopted purposive research design, the population of the study was (3,500) and sample size studied was 350 business owners/manager, using a simple random sampling of 10% of total population. Data were analysed using descriptive statistics. The hypotheses were tested with multiple regressions. The findings revealed that the lack of succession plan is not the significant factor responsible for the problem of succession despite the fact that most family enterprises lack succession plan. There are other factors responsible for the problem of poor succession in family-owned businesses in Nigeria

Keywords: *Owner-entrepreneur, Succession planning, Family-owned business, Successor, Lagos, Nigeria*

1. Introduction

According to Abouzaid, (2008), family-owned businesses constitute the world's oldest and most dominant form of business organization. They account for about 70-95% of all businesses entities in most countries around the world and also create between 50-80% employment (European Family Businesses, 2012). According to Small and Medium Enterprises Development Agency of Nigeria (SMEDAN) (2012), family businesses in Nigeria contribute about 46-54% to Gross Domestic Product in 2014. The "European Group of Family Enterprises" and the "Family Business Network" (2008), defines family business as a company whose ownership and management are concentrated in one or more families, with at least one member of the family at the helm and control of the business and others are being groomed or considered for eventual leadership. Furthermore, Suh et al., (2008) believed that family business can be defined using the following criteria: voting control, percentage of ownership, power over strategic decision, involvement of multiple generations, and active management by family members. Thus, family business can be defined as a business in which

the family has influence or control over both the ownership and management operations (Cabrera-Suarez, 2005).

In the United States of America (U.S.) family businesses constitutes 90 percent of businesses, accounts for 64 percent of U.S. gross domestic product, generate 62 percent of the country's employment, and account for 78 percent of all new job creation (Astrachan and Shanker, 2003). This is to such extent that the greatest part of America's wealth lies with family-owned businesses. Furthermore, studies have shown that about 35 percent of Fortune 500 companies are family-controlled and represent the full spectrum of American companies from small business to major corporations (Astrachan and Shanker, 2003). In North America, family firms comprise 80 to 90 percent of all business enterprises (Astrachan and Shanker, 2003).

On the other hand in Africa, family-run businesses tend to be less formal or institutionalized than their counterparts in the developed economies. They sometimes lack the history, expertise and government support found in other parts of the world and as a result, these businesses have a tendency to be short lived and rarely pass to a second generation of owners. Hence, operating and growing family businesses in Africa requires more efforts and home-grown strategies to survive than their counterparts in developed countries. Though a recent study (Oluwafunmilayo, Olokindun, Moses, & Grace, 2018) believed that entrepreneurs that hail from existing family business have a tendency to keep up in business. However, most developed countries' literature concentrates on performance and dynamics issues in the short term while looking at strategies for growth and succession on the long run.

Another reason may be that in most international discussions, as well as global publications and documents, when a nation is considered developed or advanced, it is an indication that the private sector, dominated by entrepreneurs and SME sector of that nation is developed. When a nation is described as under developed or developing, its private sector is under developed or developing. This could also be the reason why many higher educational institutions in developed economies offer family business programs or degree at bachelor and master's level unlike in developing economies

The poor survival rate of family firms is a continuing source of concern given the dominance of family businesses in so many national economies all over the world as only 13 percent survive through the third generation (Sharma, 1999). According to Davis & Haverston, (1998) just 30% of family businesses see the light of the day beyond the first generation while about 10% to 15% go beyond third generation. In Nigeria more than 70% of Small and Medium Size Enterprises (SMEs) die before their founders as most of them are not able to survive a generational transition (Lansberg & Astrachan, 1994; Nworah, 2011). This problem is as a result of inheritance culture that influences management succession because, without qualified successors, there cannot be generational enterprises (Onuoha, 2013). According to Ugboro, (2011) Nigerian society thrives on sentiments with people occupying positions they should not because they are related to people at the helm of affairs with owners of businesses usually passing the reins to members of families, especially the eldest child even if not qualified, interested or knowledgeable enough to know their left from right, The right of the eldest surviving son to succeed his father in the headship of the family and his commercial ventures is automatic and arise as a result of seniority (Onuoha, 2010).

The current failure of family-owned businesses (FOB) in Nigeria has necessitated the training of individuals with valuable skill sets in the short term who can become valuable for the

business in the long-term (Babey, Hagel, Montilla, Robins, & Harris, 2016). Babey et al. (2016) further pointed out that many in-service skilled workers from the 1980s era in Nigeria, who might be able to pass on their valuable skill sets, are leaving the industry at an alarming rate. In this context, inadequate preparation and the downplaying of succession planning have badly hit the industry and the future success of family businesses, affecting the rebound of business activities among small and medium enterprises (SMEs). An increasing number of founders of family-owned businesses (FOB) are becoming eligible for retirement. This is particularly true for engineers, geologists, skilled labourers, and experienced executives. Such roles are difficult to fill because the demand is high and there are fewer individuals with experience in these areas (Babey et al., 2016). Alvani, Souteh, Jandaghi, and Inaloo (2016) noted that slightly more than half of FOB do not have a signed, documented succession plan in place, and that a few companies recently started implementing a succession plan.

Alvani et al. (2016) asserted that succession planning enables an organization to identify its knowledge gaps and to foster and train its employees, so they are able to express their desires about career development in a safe, active, and comfortable environment. Effective successive planning helps to identify positions that are critical to organization success and enhances the strategic effort to prepare individuals to take up new roles. Supporting the influence of succession planning on knowledge management transfer, Alvani et al. (2016) stated that the main aim of a comprehensive succession plan should be to transfer the knowledge possessed by key individuals before they leave the organization due to retirement or voluntary exit.

The lack of succession planning in Nigeria is a serious problem militating against the survival of family-owned businesses as 94.2% of entrepreneurs do not have a succession plan (Onuoha, 2013). Despite the challenge posed by a lack of succession planning, most studies failed to examine succession planning and its effects on the continuity of family-owned enterprises in Nigeria. Few of the research conducted on succession planning tend to focus more on the small and medium scale enterprises, paying less attention to family-owned businesses. This situation is appalling, considering the fact that a large majority of SMEs are family-owned enterprises (European Commission, 2009).

The purpose of this research, therefore, is to carry out an in-depth appraisal of succession planning for the purpose of identifying the factors preventing smooth succession in family-owned businesses in Nigeria. This paper is structured into six sections; the first section is this part which introduced the topic. The second is the literature review which presents previous studies on succession planning in family enterprises. The third section presents the research methodology while the fourth section presents the findings and discussions. The fifth section is conclusion while the last section is the limitation of the study.

2. Literature Review

2.0 Conceptual Review

2.1 Concept of Family Business

Onuoha, 2012, posited that family-owned businesses may be the oldest form of business organization, but it is only in recent decades that their benefits and roles in the economy is being researched into. According to him, more than 70 percent of companies in most developed countries are family-owned. The contributions of SMEs and family-owned business in an economy are numerous, diverse and integrated.

Some of them include: stimulation of indigenous entrepreneurship, creation of thousands and millions of employment opportunities and openings, maintenance of competition, greater innovations and creativity, paying taxes, earning foreign exchange, mobilising savings and contributing reasonably to a nation's gross domestic product.

A huge amount of consensus is required to define the family business and many factors are needed to differentiate family businesses from other form of businesses. The family member's involvement in family businesses can vary from ownership of shares to full involvement of members in the business. These factors lead to the difficulty in defining the "family business" (Neuebauer and Lank, 1998). Handler (1989) offered a broad definition of the family business as "an organization where all the operating decisions and the plans related to leadership successions is effected by the family member who is in the management or board". Moreover, it is found that family-owned businesses are in micro and small businesses because it is found that family businesses are fast growing and prosperous businesses.

Generally, a business that is owned and managed by one or more than one family member is called family business (Handler, 1989; Hollander & Elman, 1988). Davis and Tagiuri (1982) defined family business more broadly as businesses where one or more extended family members are involved in management of the business through practice of management roles, ownership rights or kinship ties." Furthermore, Gallo (1994) described family businesses as indispensably similar all over the world due to their issues, problems and interests.

Family businesses may include various combinations, including husbands and wives, children and parents, extended families, two or more generations in the forms of employees, stock holders, advisors, partners, board members, and so on (Lannarelli and Bianco, 2010). The scenario of multiple membership of family businesses is mostly common in the U.S. and Europe. In most developing countries, including Nigeria, ownership and membership of family enterprises are limited to nuclear and sometimes, the extended family, coupled with conflicts that may also account for the reason why family businesses have high mortality rate in Nigeria. The proportion of the economy which the family businesses occupy in some of the important economies are as follows: Brazil – 90%, USA – 96%, Belgium – 70%, UK – 70%, Finland – 80%, France – 60%, Germany – 60%, Netherlands – 74%, Poland – 80%, Portugal – 70%, Spain – 79%, UK – 70%, Australia – 75%, (Timmons and Spinelli, 2009). The percentage in the World is similar if not more. These statistics underscore the dominance of family businesses in most economies.

2.2 Why Family Businesses Fail?

Family enterprises forms the backbone of any economy, with families owning or controlling 80 percent of all businesses. But studies have shown that only 30 percent of the family businesses survive into the second generation while even less continues to the third. Qurashi, Hussain, & Mushtaq, (2013) in their work 'The Dilemma of Success and Failure in Family Business' examined the circumstances and setbacks of the family owned business in Pakistan. They ascribed success of family business to having a clear vision, shared values, clear procedure, expectations and proper succession plan. Notably, the success of family business inevitably comes down to the fine art of integrating and balancing the needs between ownership, family and business. According to Golob (2018), family businesses struggle and fail some reasons which include:

2.2.1 Lack of Proper Planning

All businesses require planning, but family businesses face the additional planning task of balancing family and business demands. There are five critical issues where the needs of the family and the demands of the business overlap and require parallel planning action to ensure that business success does not create a family or business disaster. They are:

- a. Capital: How are the firm's financial resources sourced and allocated between different family demands?
- b. Control: Who has decision-making power in the family and firm?
- c. Careers: How are individuals selected for senior leadership and governance positions in the firm or family?
- d. Conflict: How do we prevent this natural element of human relationships from becoming the default pattern of interaction?
- e. Culture: How are the family and business values sustained and transmitted to owners, employees and younger family members?

2.2.2 Poor Succession Planning

One of the fundamental problems of the family business is the lack of an adequate succession plan. Many of the family businesses did not have a succession plan in place, and few of those that did had designated a specific person to take the reins. However, succession can require a multi-stage process of growing involvement and it's crucial for predecessors to dedicate time to creating a business roadmap. Planning cannot be done in isolation of the family.

There appear to be two main factors affecting the development of family business and succession process: the size of the family, in relative terms the volume of business, and suitability to lead the organization, in terms of managerial ability, technical know-how and commitment (Arien, 2010). Arien proposed a model in order to classify family firms into four scenarios: political, openness, foreign management and natural succession.

One of the largest trends in family business is the amount of women who are taking over their family firms. In the past, succession was reserved for the first born son, then it moved to any male heir. Now, women account for approximately 11-12% of all family firm leaders, an increase of close to 40% since 1996. Daughters are now considered to be one of the most underutilized resources in family businesses. To encourage the next generation of women to be valuable members of the business, potential female successors should be nurtured by assimilation into the family firm, mentoring, sharing of important tacit knowledge and having positive role models within the business.

2.2.3 Family Conflict

Mutual support among relatives is key for instilling loyalty towards the family business. Many families lack procedures that help manage conflict in an objective and productive way, so seeking outside help is often necessary to help the family out of seemingly irresolvable issues. The challenge faced by family businesses and their stakeholders, is to recognize the issues that they face, understand how to develop strategies to address them and more importantly, to create narratives, or family stories that explain the emotional dimension of the issues to the family.

2.2.4 Different Visions between Generations

Generational conflict can hinder the growth of family businesses. This is especially true of disagreement in core values and missions exists. The next generation should be cautious not to

reject established work methods and entrepreneurial vision, just as predecessors should demonstrate flexibility in exploring new management strategies and ideas for innovation.

2.2.5 Governance Challenges

Business families do not need to just consider corporate governance. In addition to corporate oversight, they require family and shareholder governance infrastructure. Family governance requires family meetings, councils or assemblies which requires time and commitment.

It is crucial to communicate and create a flow of information between owners, the business and the family. Many members fear raising sensitive issues, losing control or sharing too much information. Without governance, members are confronted with exclusion and secrecy, assumptions and procrastination.

2.2.6 Exclusion of Family Members outside the Business

Family members has an investment and the overall assets of the family, whether they are active in the management of the business or assets, the business and assets impact lifestyle, health and happiness of everyone in the family business.

2.3 Empirical Review

This section review extant literature on succession in small and medium scale enterprises (SMEs), particularly family-owned businesses. Some of these studies include the work of Obadan & Ohioyenola (2013) that examined succession planning in small businesses in the hotel industry in the ancient city of Benin-Nigeria and found that most of the small businesses have no succession plan in place. They further found that the ability and the competence of potential successors are not put into consideration. Ogundele et al. (2012) in their studies of entrepreneurial succession problems in Nigeria's family businesses found that the succession law coupled with the multi-cultural nature of Nigeria serve as the stumbling block to smooth succession in family-owned businesses. They also stated that the existing laws on succession are ambiguous as they encompass the native laws and customs of the people.

Musa & Semasinghe (2014) examined leadership succession problem in small family businesses in Nigeria and found that most founders of family-owned firms failed to embark on succession planning due to fear of losing control of the business to subordinate or any member of the family. In addition to their findings, they also discovered that the problem of inheritance among family members militate against the continuity of family enterprises.

Onuoha (2013) study on poor succession planning by entrepreneurs in Nigeria found the following factors to be responsible for poor succession. These include entrepreneurs' feelings of sound health, lack of interest by potential successor; entrepreneurs' lack of knowledge of what succession planning entails; and the fear of mismanagement. In the same vein,

Aderonke (2014) research on culture determination and family business succession in Jos, Nigeria found that cultural factors such as extended family system, inheritance tradition (such as preference for sons, marriage) and education have significant impact on the successful of family enterprises.

The foregoing studies highlighted several factors that tend to inhibit the succession and continuity of family-owned businesses in Nigeria. It is pertinent to mention the common factor,

as noted above, often mentioned as the cause of succession and continuity problem in small and family businesses in Nigeria is the lack of succession planning. Hence, the aim of this study is to conduct an appraisal on family-owned businesses in Lagos in order to bring to bear the lack of succession planning is significantly responsible for the problems of succession.

3. Methodology

The study adopted a purposive sampling technique to select 350 participants (owners/founders of family businesses) in Lagos State, Nigeria, from the population. The study was conducted in Lagos State due to the unorganized association of family-owned enterprises in Nigeria and the lack of access to information. Besides, Lagos is the commercial hub of Nigeria as 60% or 70% of businesses and industrial transactions are executed in Lagos (Lucky et al., 2011).

A total of 275 usable questionnaires were completed and returned, providing a final return rate of 79%. Purposive sampling is also known as judgemental, selective or subjective sampling. It is a type of non-probabilistic sampling that relies on the judgement of the researcher when it comes to selecting the units that are to be studied. The rationale for using this technique is that it is suitable for qualitative or mixed methods (both qualitative and quantitative) research design and it is also popular in qualitative research.

The study used primary data, which were collected through the administration of questionnaires to founders/owners of family-owned enterprises in Lagos State, Nigeria. The questionnaire consist of a combination of both close-ended and open-ended questions. A seven-point Likert scale, which ranges from strongly disagree and strongly agree, was used to rate the responses from respondents.

The data analysis technique employed in this study include descriptive and factor analysis. The study used descriptive analysis to summarize the profile of participants. Factor analysis was equally employed to reduce the data and choose those items that actually measure the constructs in the study.

It is also important to state that the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) software was used in running the analysis.

4. Results and Discussions

4.1 Nature of the Business

Table 1: Nature of the Family Business

Nature of Business Activities	Frequency	Percentage
Commercial	3	15%
Manufacturing	4	20%
Construction	1	5%
Service	10	50%
Others	2	10%
Total	20	100%

Table 1 depicts that most of the family-owned enterprises in Lagos State are service-oriented followed by manufacturing firms. A possible explanation for this is that the cost of setting up manufacturing firms in Nigeria is very high, coupled with unfavourable business environment.

Most raw materials requisite for production cannot be sourced locally, and the cost of importation is rising due to the falling value of the naira.

4.2 Geographical Origin of Managing Director

Table 2: Geographical Origin

Geographical Origin	Frequency	Percentage
South-West	5	25%
South-South	6	30%
South-East	6	30%
North-East	3	15%
North-Central	0	0
North-West	0	0
Total	20	100%

Table 2 indicates that most family-owned businesses in Nigeria are centred in Lagos state as virtually all the six (6) geo-political zones (except for North-Central and North-West regions) are represented. This however, validate the assertion by Lucky et al. (2011) that 60-70% of family-owned firms in Nigeria are centred in Lagos state.

4.3 Number of Employees

Table 3: Number of Employees

Number of Employees	Frequency	Percentage
None	0	0
1-9 (Micro)	2	10%
10-49 (Small)	7	35%
50-100 (Medium)	5	25%
101-249 (Large)	2	10%
250 or more (Large)	4	20%
Total	20	100%

Table 3 reveals that about 55% of the family-owned businesses are medium and large businesses which employ an average of 50 employees (medium) and 125 employees (large). These results suggest that, these family-owned firms absorb a reasonable proportion of persons thereby creating employment.

4.4 Succession Planning

Table 4: Rating of Succession Planning in Family Businesses

	1	2	3	4	5	6	7	Mean	SD
Succession Planning	Strongly Disagree	Disagree	Slightly Disagree	Neutral	Slightly Agree	Agree	Strongly Agree		
Formal, written succession plan exist in the company	2 (10%)	6 (30%)	2 (10%)	6 (30%)	2 (10%)	0 (0%)	2 (10%)	3.40	1.73
Inheritance issue and plans have been clearly addressed within the family	1 (5%)	6 (30%)	1 (5%)	6 (30%)	0 (0%)	2 (10%)	4 (20%)	4.00	2.03
The company has formal criteria for choosing a successor	1 (5%)	6 (30%)	2 (10%)	5 (25%)	2 (10%)	3 (15%)	1 (5%)	3.70	1.72
All the family members working in the company are aware of the succession plan.	3 (15%)	6 (30%)	2 (10%)	4 (20%)	0 (0%)	2 (10%)	3 (15%)	3.50	2.09
It is important that a successor has worked outside the organization before joining the business	2 (10%)	3 (15%)	2 (10%)	0 (0%)	7 (35%)	4 (20%)	2 (10%)	4.45	3.88
Family members joining the business are given preferential positions.	3 (15%)	5 (25%)	3 (15%)	3 (15%)	3 (15%)	2 (5%)	1 (5%)	3.40	1.82
There is a clear commitment from the successors to the business.	0 (0%)	4 (20%)	1 (5%)	6 (30%)	0 (0%)	3 (15%)	6 (30%)	4.75	1.94

There exists sibling rivalry within the family business.	5 (25%)	6 (30%)	3 (15%)	7 (35%)	3 (15%)	2 (10%)	0 (0%)	2.85	1.75
There is currently a clear identified successor for the business.	1 (5%)	7 (35%)	0 (0%)	5 (25%)	1 (5%)	2 (10%)	4 (20%)	4.00	2.08

Table 4 shows the results of respondents' views on the matter relating to succession planning. The results reveal that most of the family-owned businesses do not have formal written succession plans and do not have formal criteria for choosing successors. This outcome lends credence to the assertion by Onuoha (2013) that about 95% of family-owned enterprises in Nigeria do not have a succession plan. The result also shows that even where succession plans exist, not all the members of the family are aware of such plans. The results further indicate that only a few of these firms address inheritance issues and plans within the family'

Majority of the respondents, however, subscribed to the fact that the potential successor need to work and acquire experience from other organizations before joining the family business. About 55% of the respondents indicate that other family members are not given preferential positions in the business. Furthermore, 70% of the respondents deny the existence of sibling rivalry in the family business. This implies that despite the lack of formal succession plan, family members are aware of the potential successor.

The reason for that is that most culture in Nigeria believes that the first son of the family is always the heir-apparent even though he is unsuitable for the position. Consequently, culture significantly influences successors in family businesses in Nigeria (Aderonke, 2014; Musa & Semasinghe, 2014; Ogundele et al., 2012).

5. Conclusion

This study has shown that family-owned businesses in Lagos state, the commercial hub of Nigeria, do not have a formal and well-written succession plan and procedures. The study, however, reveals that the lack of a succession plan is not the significant factor responsible for the problem of succession in family-owned firms in Nigeria. This is because, most Nigeria's culture and tradition believe that the first son of the founder is usually the heir to the family business. This justifies why there is less-existence of sibling rivalry in the family. Consequently, this study concludes that even though most family enterprises lack succession plan, there are other significant factors responsible for the problem of poor succession in family-owned businesses in Nigeria, as elucidated in this study.

6. Limitation of the Study

This study is limited by a sample collected from Lagos State. Although one can assume that the results reported would also be considered important in other parts of Nigeria. Hence, there is a need to conduct further studies in the future using a larger sample size. The findings also provide direction for further research. It is important that more empirical studies be conducted as regards

the issue of succession in family-owned firm in Nigeria in order to bring to bear other factors inhibiting succession in family-owned businesses.

References

- Abouzaid, S. (2008). IFC family business governance handbook. Retrieved from <http://www.ifc.ptg/wps/wcm/connect/159c9c0048582688>.
- Aderonke, J. (2014). Culture determinants and family business succession in Jos Metropolis, Plateau State, Nigerian Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences, 5(5), 379 – 390.
- Cabrera-Suarez, K. (2005). Leadership transfer and the successor's development in the family. Leadership Quarterly, 16(6), 71 – 96.
- European Commission (November 2009). Overview of Family-Business-Relevant Issues. Research Networks. Policy Measures and Existing Studies. Final Report of the Export Group.
- Lucky, I. O. E., Musa, M. S., & Isaiah, A. O. (2011). A conceptual framework of family business succession: bane of family business continuity. International Journal of Business and Social Sciences, 2(17), 106-113.
- Musa, B. M., & Semasinghe, D. M. (2014). Leadership Succession Problem: an Examination of Small Family Businesses. European Journal of Business and Management, 6(34), 301-206.
- Obadan, J. A., & Ohiorenoya, J. O. (2013). Succession planning in small business enterprises in Edo State of Nigeria. European Scientific Journal, 9(31), 64-76.
- Ogundele, O. J. K., Idris, A. A., & Ahmed-Ogundipe, K. A. (2012). Entrepreneurial succession problems in South-East, Nigeria. AFRREV IJAH. An International Journal of Arts and Humanities, 2(2), 207-227.
- Onuoha, B. C. (2013). Poor Succession Planning by Entrepreneurs: The Bane of Generational Enterprises in South-East Nigeria. AFRREV IJAH. An International of Arts and Humanities, 2(2), 270-281.
- Onuoha, B. C. (2013). Wealth Creation, Retirement and Succession Planning of Entrepreneurs in South-East, Nigeria. International Business and Management, 7*1), 99-105,
- Suh, I., Park, Y. H., & Park, T. (2008). Factors Influencing Business Succession. SMEDAN & National Bureau of Statistics (2012). Survey Report in Micro, Small and Medium Enterprises in Nigeria: 2010 National MSME Collaborative Survey, Abuja: SMEDAN and National Bureau of Statistics

INFLUENCE MARKETING BUYING AND CUSTOMER BEHAVIOUR OF AUTOMOBILE FIRMS IN MINNA METROPOLIS, NIGER STATE NIGERIA

Adeshina Nike Tosin
Abdulwaheed Dauda (Ph.D)
Ochepa A. A. (Ph.D)
Rafatu Ozohu ONIMISI

Department of Entrepreneurship and Business Studies, Federal University of Technology,
Minna, Niger State.

Abstract

This paper examines the relationship between Influencer Marketing Buying and Customer Satisfaction within the automobile industry in Minna Metropolis, Niger State, Nigeria. As digital media expands across African emerging markets, car dealers are shifting from traditional advertising to social media influencers to shape purchasing decisions and drive sales. Utilizing a structured survey research design with data collected from automobile buyers in Minna, a multiple regression analysis was conducted to evaluate the predictive impact of key influencer marketing dimensions including credibility, technical expertise, content authenticity, and engagement on consumer behavior and satisfaction. The empirical model demonstrated strong statistical significance ($F = 35.473$, $df = 4/314$, $p < .001$), revealing that influencer marketing accounts for 31.1% of the total variance in consumer buying behavior ($R^2 = 0.311$, Adjusted $R^2 = 0.302$, Durbin-Watson = 1.182). Grounded in recent literature from developing economies (including Indonesia, China, India, Turkey, and broader African nations), the findings reveal that consumers in Minna prioritize technical competence and authenticity over raw follower count. Transparent and unvarnished vehicle reviews significantly reduce post-purchase cognitive dissonance, directly enhancing long-term customer satisfaction and brand loyalty. This study bridges the gap between online promotion and real-world consumer behavior in African emerging markets. Practically, it recommends that automobile dealerships in Niger State collaborate with niche micro-influencers possessing deep technical expertise and local trust rather than general celebrities, leveraging localized, honest content to build sustained competitive advantage.

Keywords: Influencer Marketing, Consumer Buying Behaviour, Customer Satisfaction, Automobile Firms, Social Media, Minna Metropolis, Niger State, Digital Marketing.

1.0 Introduction

The automotive sector in emerging African markets like Nigeria is undergoing a fundamental transformation driven by shifting consumer preferences and the pervasive adoption of digital channels (Ka *et al.*, 2026). In medium-sized urban centers such as Minna Metropolis, Niger State, the traditional automobile purchasing model which relied heavily on physical showroom visits and word-of-mouth recommendations is increasingly supplemented by digital interactions. Today, social media influencers serve as critical intermediaries who shape early consumer perceptions, guide pre-purchase evaluations, and set expectations regarding vehicle performance, pricing, and dealer reliability (Tabar *et al.*, 2026). Buying a vehicle is one of the most important financial decisions a person or family will make. Unlike small everyday items such as food or toiletries, buying a car involves spending a large amount of money. Because of

this, buyers take extra time to gather information, check prices, compare different car brands, and think carefully before choosing a vehicle (Pierce and Connolly 2023)

The primary drivers of automobile purchasing decisions in Minna are trusted technical experts and established trade networks (Agbo 2020). Because buying a vehicle carries high financial risk, customers rely heavily on certified auto mechanics in hubs like Bosso Road, Tunga, and Kpakungu for pre-purchase inspections and advice on spare parts availability. Additionally, local car dealers, independent brokers, and transport union figures influence buying choices through word-of-mouth, transparent dealings, and proving which vehicle models withstand local road condition.

Complementing physical market experts are regional lifestyle creators, digital marketers, and local fleet operators who shape consumer perceptions through online showcases and community visibility. These influencers drive customer satisfaction by providing transparency around vehicle documentation, reducing post-purchase risk, and guiding buyers toward cars with optimal fuel efficiency and resale value in the North-Central region. The digital marketplace is increasingly driven by online opinion leaders who heavily influence how consumers discover, evaluate, and purchase products. Driven by widespread consumer engagement with a vast majority of shoppers following influencers and consulting recommendations before buying the influencer marketing industry is projected to grow from 16.4 billion in 2022 to 40 billion by 2030. Through key attributes such as credibility, expertise, attractiveness, and innovativeness, these influential figures fundamentally shape consumer attitudes, perceptions, and purchasing decisions (Tabar *et al.*, 2026).

Concurrently, the widespread democratization of content creation has triggered a major data quality crisis across digital spaces. With billions of social media users generating content daily, individuals can exert widespread influence regardless of their actual expertise or factual accuracy, leading to severe "information pollution." This proliferation of misleading or low-quality content poses a serious consumer protection challenge, particularly when buyers rely on inaccurate or incomplete influencer advice to make high-stakes purchasing decisions (Tabar *et al.*, 2026).

In high-involvement purchases like automobiles, where financial commitment is significant and risk perception is elevated, the utility of influencer marketing extends beyond initial sales conversion. It directly influences the buyer's evaluation process, post-purchase experience, and overall consumer buying behavior. While local car dealers in Minna Metropolis have increasingly adopted influencer marketing, empirical understanding of how these strategies influence actual consumer buying behavior remains sparse. Much of the existing academic focus centers on fast-moving consumer goods (FMCG) or broad social media engagement in Western contexts (Astuti and Suratman 2025).

In a regional Nigerian market like Minna, a crucial gap exists: when influencer endorsements focus on superficial luxury appeal over technical transparency, consumers face heightened pre-purchase uncertainty and post-purchase dissonance. Local dealers lack systematic, empirical evidence demonstrating the exact quantitative impact of influencer marketing dimensions such as credibility and technical expertise on local vehicle buyers' decisions.

2.0 Regression Result Tables

Table 1: Model Summary and Global Statistics

Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.558	0.311	0.302	0.462	1.182

The statistical analysis proves that influencer marketing has a strong and meaningful impact on how people buy cars in Minna Metropolis. The overall model is highly statistically significant ($F = 35.473$, $p < .001$), showing that digital influencer strategies directly shape consumer choices. Together, key influencer traits such as their technical knowledge, credibility, content honesty, and online engagement account for 31.1% of the decision-making process and post-purchase satisfaction among car buyers in Minna ($R^2 = 0.311$, Adjusted $R^2 = 0.302$). Diagnostic checks (1.182 Durbin-Watson score) also confirm that these survey results are reliable, accurate, and free from statistical bias.

Looking at the specific factors, an influencer's technical expertise ($\beta = 0.325$) and credibility ($\beta = 0.268$) emerged as the strongest single drivers of consumer behavior. This means vehicle buyers in Minna do not care much about generic celebrities or high follower counts. Instead, they place the highest value on influencers who demonstrate real mechanical knowledge, explain vehicle conditions clearly, and build authentic trust. Honest, unvarnished reviews that point out both the pros and cons of a vehicle help set realistic expectations, which directly prevents buyer's remorse after the purchase.

In conclusion, these results demonstrate that digital influencer campaigns directly drive physical automobile sales when executed with transparency. Because influencer marketing controls nearly a third of the buyer's decision, car dealerships in Niger State can achieve a clear competitive advantage by moving away from expensive celebrity ads. Instead, partnering with trusted local micro-influencers who provide honest, technically detailed reviews is the most effective strategy for boosting vehicle sales and ensuring long-term customer happiness.

3.0 Conclusion

The expansion of digital media across African emerging markets has fundamentally reshaped how high-involvement products like automobiles are evaluated and purchased in regional urban centers like Minna Metropolis, Niger State. Moving beyond traditional showroom displays and physical word-of-mouth, automotive dealers are increasingly leveraging social media influencer partnerships to guide buyer decisions. However, because purchasing a vehicle involves significant financial risk, the impact of digital marketing extends far beyond initial sales leads it directly governs pre-purchase expectations and post-purchase customer satisfaction. Drawing on Source Credibility Theory and Expectancy-Disconfirmation Theory (EDT), this study demonstrates that when influencer content lacks transparency or technical accuracy, buyers experience heightened post-purchase cognitive dissonance (buyer's remorse), which ultimately erodes consumer trust and damages long-term dealer reputation.

Empirically, the study proves that influencer marketing is a multi-dimensional driver of consumer behavior in Minna, accounting for nearly a third of the variance in buying decisions and satisfaction. Crucially, local buyers prioritize deep technical expertise, mechanical transparency, and content authenticity over raw celebrity status or high follower counts. Authentic, unvarnished vehicle reviews that highlight both pros and cons set realistic expectations, directly mitigating buyer's remorse and fostering dealer loyalty. Ultimately,

automotive firms in Niger State can achieve a sustained competitive advantage by reallocating budgets away from generic celebrity endorsements and partnering with trusted, local micro-influencers who provide technically detailed, regionally relevant content that bridges the gap between digital discovery and real-world showroom transactions.

REFERENCES

- Agbo, C. O. A. (2020). Nigeria's automotive policy and the quest for a viable automotive industry: a lesson for the developing economies. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 11(4), 585-603.
- Astuti, B., & Suratman, A. (2025). Social Media Marketing and Actual Purchase Behavior Among Gen Z: The Mediating Role of Consumer Engagement and Purchase Intention with High Involvement Product Moderation. *Tec Empresarial*, 20(2), 935-952.
- Ka, I., Djité, A. N., Chimère Diop, S. A., Ayetor, G. K., & Diouf, B. (2026). The Electric Vehicle Transition in Emerging Economies. *Vehicles*, 8(2), 37.
- Pierce, G., & Connolly, R. (2023). Disparities in the “who” and “where” of the vehicle purchase decision-making process for lower-income households. *Travel Behaviour and Society*, 31, 363-373.
- Tabar, S., Towhidi, G., Dhar, S., & Borna, S. (2026). Opinion leadership and data quality in consumer decision-making: a phase-specific analysis of the rational decision process. *European Journal of Management Studies*, 1-29.

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON MAIZE FARMERS' PRODUCTION

Salawu M.O

Prof. I.S. Umar

Dr. Sallahu H.

Department of Agricultural extension and rural development, Federal University of
Technology Minna

Department of Agricultural Economics and Management, Federal University of Technology
Minna

Abstract

This study examined the effects of climate change on maize production among maize farmers in Oyo State, Nigeria. Specifically, the study assessed the socio-economic characteristics of maize farmers, examined maize production trends, assessed vulnerability and examined the relationship between socio-economic characteristics, climate change effects, and maize production. A multistage sampling procedure was used to select 227 maize farmers from the study area. Primary data were collected through a structured questionnaire and analyzed using descriptive statistics, vulnerability indices, Likert-type rating scales. The findings revealed that the majority (72.2%) of the respondents were between 41 and 50 years of age, with a mean age of 44 years, while 99.6% were male. Most respondents (66.1%) had no formal education, 76.7% had household sizes of 6–10 persons, and 89.4% possessed between 10 and 20 years of farming experience. The mean monthly household income was ₦69,869. Maize yield showed a slight increase from 1,683.13 kg/ha in 2023 to 1,707.25 kg/ha in 2025, while the mean cost of production increased substantially from ₦574,757.71 to ₦646,475.77 during the same period. . Vulnerability assessment indicated that 67.0% of farmers were moderately vulnerable and 33.0% were highly vulnerable to climate change, with none classified as having low vulnerability.

Keywords: Climate change, maize production, vulnerability, maize farmers, Oyo State.

1. Introduction

Agriculture remains a fundamental pillar of Nigeria's economy, employing over 70% of the population and contributing significantly to food security, income generation, and rural development (Food and Agriculture Organization (FAO), 2020). Maize (*Zea mays*), a staple crop in Nigeria, plays a crucial role in food security, income generation, and the agro-industrial sector. Maize is one of the most widely cultivated cereal crops in Nigeria and serves as a primary food staple, animal feed ingredient, and industrial raw material. In Oyo State, maize plays a central role in rural livelihoods, providing both food and income for a significant portion of the population. Oyo State, located in the South-Western region of Nigeria, is one of the major maize-producing area, with thousands of smallholder farmers depending on it for their livelihood (Adepoju and Salman, 2021). Among the staple crops cultivated in Nigeria, maize is one of the most important due to its high consumption rate, industrial usage, and economic value (Ojo *et al.*, 2019). The state benefits from a tropical climate characterized by two distinct rainy seasons, which allows for two cycles of maize production annually early and late planting seasons (Olaniyi and Ojeniyi, 2012). Despite its importance, maize production in the state is often undertaken using rudimentary tools and traditional practices, leading to sub-optimal yields. The majority of producers are smallholder farmers who lack access to improved

technologies and inputs. Moreover, maize prices are subject to seasonal volatility, which affects market predictability and household income (Adewumi and Omotesho, 2002). The increased demand for maize for both food and feed purposes has not been matched by a commensurate increase in production, leading to supply deficits. Consequently, Oyo State continues to rely on maize supplies from other regions to meet local demand.

A change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods (IPCC, 2023). **Climate change** refers to long-term alterations in temperature, precipitation patterns, wind systems, and other aspects of the Earth's climate system over extended periods (typically decades or longer). It includes both natural variability and changes resulting from human activities, particularly the emission of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). Climate change has emerged as a significant threat to maize production, affecting yields, farming practices, and the overall resilience of farmers. However, the production of maize in Oyo State, like many other regions in sub-Saharan Africa, faces severe challenges due to climate change. Climate change has led to alterations in temperature, rainfall patterns, and extreme weather conditions, which adversely impact agricultural productivity (International Panel on Climate Change (IPCC), 2021).

Climate variability negatively impacts maize yield through excessive heat stress, reduced soil moisture, and increased incidences of pests and diseases (Lobell *et al.*, 2011). These climatic challenges necessitate urgent adaptation strategies to sustain maize production. Smallholder farmers, who dominate maize farming in Oyo State, are particularly vulnerable due to their limited access to climate information, financial resources, and adaptive technologies (Fadina and Barjolle, 2018).

Historical climate data indicate rising temperatures and declining rainfall distribution, which pose significant threats to rain-fed agriculture, the predominant farming system in the region (Nigerian Meteorological Agency (NIMET), 2022). These changes highlight the necessity for climate-smart agricultural interventions.

Given the importance of maize to food security and livelihoods in Oyo State, an in-depth study on the effects of climate change on maize production is necessary. This research will provide empirical evidence on climate trends, farmer perceptions, vulnerability levels, resilience, and adaptation measures. The findings will be invaluable to policymakers, extension officers, and stakeholders in developing effective climate adaptation strategies for smallholder farmers.

2.0 RESEARCH METHODOLOGY

2.1 Study Area

The study was conducted in Oyo State, Nigeria. Oyo State is located in South-Western Nigeria, which is one of the largest states in the country, covering an area of approximately 28,454 square kilometres. The State lies between Latitude 7°N and 9°N and Longitude 3°E and 5°E. It shares boundaries with Kwara State to the north, Osun State to the east, Ogun State to the south, and the Republic of Benin to the west. Oyo State has a tropical climate characterized by distinct wet and dry seasons, with an annual rainfall range of 1,200mm to 1,500mm. The wet season lasts from April to October, while the dry season spans from November to March, with peak dryness occurring in December and January (NIMET, 2020).

The State is home to a predominantly agrarian population, with smallholder farmers making up a significant portion of the workforce. Major crops cultivated include cassava, maize, yam, cocoa, and oil palm. Cassava farming is particularly widespread due to its adaptability to

various soil types and climatic conditions. However, recent changes in climate patterns, such as increased temperature, irregular rainfall, and extended dry spells, have posed severe challenges to agricultural productivity in the state (Oluwatusin, 2014). Annual **rainfall ranges between 1,200 mm and 1,500 mm**, and **temperature averages 26°C–35°C** (NIMET, 2023). However, climate change has led to **increased temperature variability, shifting rainfall patterns, and extreme weather events**, affecting agricultural productivity.

Oyo State consists of 33 Local Government Areas (LGAs), with major farming communities found in rural LGAs such as Ogbomoso, Iseyin, Oyo, Saki, and Atiba. These areas depend heavily on rain-fed agriculture, making them particularly vulnerable to climate variability. The socio-economic structure of the farming communities is largely traditional, with limited access to modern farming techniques, irrigation facilities, and financial support systems (Agwu and Okhimamhe, 2019).

2.2. Sampling Technique and Sample Size

2.2.1. Sampling Technique

A multi-stage sampling technique was adopted for this study. Stage 1 involved purposive selection of five (5) Local Government Areas (LGAs) known for intensive maize production in Oyo State (Ogbomoso South, Ogo-Oluwa, Surulere, Ori-Ire, and Atiba). In stage 2, two (2) prominent maize-farming communities were randomly selected from each selected LGAs giving a total of ten (10) communities. The stages 3 involve random selection of maize farmers in each of the selected communities using Yamane formula and proportion allocation technique as used by Atube *et al.* (2021). A list of farmers was obtained from Oyo State Agricultural Development Programme (OYSADEP), Community heads and extension agent from each LGA, where the Sample frame of 1261 was obtained. Thus, a total number of 227 respondents were used as sample size. The sampling distribution of farmers is presented in Table 3.1. The formula is given in Equation:

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (2.1)$$

Where: n= Sample size;

N= Total sampling frame;

e = Limit of tolerable error at 0.06 probability level; and

1= unity.

The proportion allocation technique formula is stated in equation as follows:

$$S_h = \frac{n \times N_h}{N_T} \quad (2.2)$$

Where: S_h = Number of farmers selected;

n = Total sample size;

N_h = Sampling frame of each village; and

N_T = Total sampling frame

2.2.2 Sample Size Determination

Table 2.1 Sampling distribution of respondent

Local Government Area	Prominent Maize-Farming Communities	Sample Frame	Sample Size
Ogbomoso South	Arowomole,	80	14
	Idi-Oro	102	19
Ogo-Oluwa	Ajaawa,	200	31
	Obaago	78	12
Surulere	Iresaadu,	115	29
	Okoko	90	21

Oriire	Ikoyi-Ile,	145	36
	Olokoto	100	22
Atiba	Oyemekun,	127	27
	Agunpopo	97	16
Total		1261	227

Source: Oyo State Agricultural Development Programme (OYSADEP), (2024)

2.3 Data Collection

Primary data were collected for this study using structured questionnaires (covering socio-economic characteristics, and vulnerability)

A structured questionnaire was mounted on a kobo toolbox for collecting quantitative data and was divided into sections corresponding to the research objectives

2.4. Measurement of Variables

The variables measured in this study include the dependent and independent variables

2.4.1 Dependent variable

The dependent variable for the study is the output of maize farmers' production. This was measured using yield in kilogram (kg) and Income (₦).

2.4.2 Independent variables

The following independent variables were measured as follows:

Age: Age of respondents was measured in years.

Marital status: was measured as single (1), married (2), divorced (3) or widowed (4).

Sex: Sex is the biological categorization of people into male or female which was measured as a dummy variable, one (1) is assigned to male while, zero (0) to female.

Education: This is respondent's acquisition of formal education which was measured as no formal education (1), primary (2), secondary (3), tertiary (4).

Farming experience: This was measured in years (Years).

Household size: This was measured as the total number of people living in the same household eating from the same pot (Number).

Farm size under maize cultivation: This was measured in hectares

Primary occupation: This was measured as farming (1), trading(2), Civil service (3).

Monthly household income (₦): This was measured as <20,000 (1), 20,000–50,000(2), 51,000–100,000(3), >100,000(4)

Vulnerability was determined by assessing respondents response to the following vulnerability indicators: Access to irrigation was measured using (Ordinal scale: Yes=1, No=0), Severity of soil erosion was measured using (Ordered scale: None=0, Mild=1, Moderate=2, Severe=3), Access to irrigation was measured using (Ordinal scale: No=0, Yes=1), Relies solely on rainfall was measured using (Ordinal scale: Yes=1, No=0), Time to recover from drought was measured using (Ordered scale: , , No recovery=0, >2seasons=1, 1-2 seasons=2, <1 season=3).

2.5 Methods of Data Analysis

2.6. Model Specification

2.6.1 Descriptive statistics

Descriptive statistics including frequencies, percentages, and mean scores. The mean score is calculated using the formula in equation (3.3) as:

$$\text{Mean} = \frac{\sum(X_i \times f_i)}{N} \quad (3.3)$$

Where:

X_i = Numerical code for response category i

f_i = Frequency of respondents choosing category i

N = Total sample size

Σ = Summation across all response categories

7.2 Vulnerability index

The extent of Maize farmers' vulnerability to climate change was analyzed using the vulnerability index formular in equation (3.4) in addition to descriptive statistics using the following indicator. Following methodological approaches demonstrated in Udoh and Joshua (2018) and Gbetibouo *et al.* (2010).

$$\text{Vulnerability} = \Sigma(Q \text{ code } ij) \quad (3.4)$$

Where:

Q code ij = Coded response of farmer j for question i in Section E

Σ = Summation across all questions in Section E Example for one farmer:

3. Formula for Overall Mean Vulnerability Score

The average vulnerability score across all farmers is calculated as:

$$\text{Overall Mean vulnerability} = \frac{\Sigma(\text{vulnerability Score } j)}{N} \quad (3.5)$$

Where:

Vulnerability Score j = Individual vulnerability score of farmer j

N = Total number of farmers

Σ = Summation across all farmers

4. Formula for Standard Deviation of Vulnerability Scores

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(\text{vulnerability Score } j - \text{Mean})^2}{N-1}} \quad (3.6)$$

Where:

Vulnerability Score j = Individual score of farmer j

Mean = Overall mean vulnerability score

N = Total number of farmers

Σ = Summation across all farmers

If vulnerability Score is $<(\text{Overall mean} - \text{SD})$ = Low vulnerability.

If vulnerability Score is $\geq(\text{Overall mean} - \text{SD})$ but $\leq(\text{Overall mean} + \text{SD})$ = Medium vulnerability.

If vulnerability Score is $>(\text{Overall mean} + \text{SD})$ = High vulnerability.

*SD= Standard Deviation

3.0 RESULT AND DISCUSSION

3.1 Socio-economic Characteristics of Maize Farmers in the Study Area

3.1.1 Age of the farmers

The distribution of farmers based on age was presented in Table 4.1, it revealed that the majority of maize farmers (72.2%) fell within the age bracket of 41–50 years with a mean age of 44 years. This finding suggests that the active farming population in the study area is dominated by middle-aged individuals who are presumably in their most productive years. The preponderance of farmers in this age aligns with the argument of Ojo and Imodu (2020), who reported that farmers in the middle-age bracket tend to possess the physical vigour and accumulated agricultural experience necessary for sustained crop production. Similarly, Ayanwale *et al.* (2021) in their study of maize producers in South-western Nigeria reported that the average age was 43 years, indicating the consistency of this age distribution pattern across the maize belt of the region. The dominance of middle-aged farmers has important implications for the adoption of climate-smart agricultural technologies, as this group is generally considered more receptive to innovation than their older counterparts, yet still constrained by resource limitations that tend to circumscribe younger, better-educated cohorts.

3.1.2 Gender of the farmers

The gender distribution of maize farmers in Table 4.1 showed a marked dominance of male farmers, who accounted for 99.6% of the farmers, with female farmers representing a negligible 0.4%. This overwhelming male preponderance in maize farming is consistent with the patriarchal land ownership and resource allocation structures that characterize much of rural Oyo State and, more broadly, the agrarian societies of south-western Nigeria. Afolabi (2020) noted that cultural norms governing land tenure and inheritance in Yoruba agrarian communities tend to privilege male access to farmland, thereby limiting women's independent participation as primary crop producers. Nationally, the Food and Agriculture Organisation (FAO, 2021) has reported that women constitute a significant portion of food producers in sub-Saharan Africa, yet their formal recognition as primary farmers often remains suppressed by institutional and cultural barriers.

Table 3.1: Socio-economic characteristics of maize farmers

Variable	Frequency	Percentage	Mean
Age range			
20–30	4	1.8	44
31–40	42	18.5	
41–50	164	72.2	
>50	17	7.5	
Gender			
Male	226	99.6	
Female	1	0.4	
Marital status			
Married	222	97.8	
Single	5	2.2	
Educational level			
No formal education	150	66.1	
Primary education	66	29.1	
Secondary education	11	4.8	
Household size range			
1–5	39	17.2	7
6–10	174	76.7	
11–15	14	6.2	
Farming experience range			
<10 years	7	3.1	15
10–20 years	203	89.4	
21–30 years	17	7.5	
Monthly household income (₦)			
<20,000	1	0.4	69,869
20,000–50,000	12	5.3	
51,000–100,000	179	78.9	
>100,000	35	15.4	

Source: Field survey, 2026.

3.1.3 Marital status of the farmers

The finding in Table 4.1 also revealed that majority (97.8%) of the sampled maize farmers were married, while only 2.2% were single. The overwhelming prevalence of married farmers in the

study area is consistent with findings of Fakayode *et al.* (2020), who observed that agricultural household heads in rural Nigeria are predominantly married, revealing the role of family institutions in facilitating farm labour pooling and resource sharing. Married farmers typically benefit from expanded household labour supply, which is particularly significant in smallholder maize production systems where hired labour is expensive and erratic. Furthermore, marriage in agrarian settings often confers social capital advantages, including access to communal farming networks, cooperative societies, and informal credit arrangements.

3.1.4 Educational level of the farmers

The result in Table 4.1 showed that most (66.1) of maize farmers in the study area had no formal education. This is followed by those with primary education (29.1%) and those with secondary education (4.8%). The dominant prevalence of farmers with no formal education shows the historical under-investment in rural schooling in Oyo State and is consistent with findings of Nwalieji *et al.* (2019), who documented low educational attainment among smallholder farmers in Nigeria's food crop sector. Low literacy levels among the farming population have significant implications for climate change adaptation, as the capacity to access, interpret and apply scientific weather information, advisory services and technology manuals is fundamentally mediated by education. Adebayo and Adeola (2020) similarly found that educational level positively influenced the adoption of improved agricultural technologies among farmers in south-western Nigeria.

3.1.5 Household size of the farmers

The distribution of farmers based on household size in Table 4.1 revealed that large proportion of the maize farmers (76.7%) had household sizes within the range of 6–10 persons, with a mean household size of 7 persons. This finding reflects the large family structures characteristic of rural south-western Nigeria, where polygamous household and extended family co-residence are present. Large household sizes in smallholder farming systems are typically associated with availability of family labour, which can be deployed in farming operations without incurring the full cost of hired labour. Olayemi (2026) noted that household size is one of the strongest determinants of farm labour availability in Nigerian smallholder agriculture. However, large households also impose significant consumption pressures on household food reserves and income, which may constrain the capacity for investment in improved farm inputs. This is consistent with findings reported by Adewale *et al.* (2024) for maize-farming communities in Oyo State, suggesting a stable demographic structure within the farming population.

3.1.6 Farming experience of the farmers

The findings in Table in Table 4.1 revealed that majority of sampled maize farmers (89.4%) had between 10 and 20 years of farming experience, with a mean of 15 years. This implies that most of the farmers in the study were experience farmers who have accumulated substantive field knowledge regarding local cropping conditions, pest dynamics and seasonal weather patterns. Experienced farmers are generally considered better equipped to identify and respond to environmental changes, including those associated with climate variability, using indigenous knowledge systems. Awotide *et al.* (2022) demonstrated that farming experience was positively associated with the adoption of improved maize varieties in Nigeria, as experienced farmers were more capable of evaluating technology performance relative to local conditions. Nevertheless, long-held traditional farming practices, if entrenched through experience, may also constitute a barrier to the adoption of novel climate-smart practices, particularly where such practices deviate markedly from established routines.

3.1.7 Monthly household income of the farmers

The finding revealed that 78.9% of maize farmers earned monthly household incomes within the range of ₦51,000–₦100,000, with a mean income of approximately ₦69,869. This income distribution indicates the generally modest economic circumstances of smallholder maize farmers in Oyo State, where maize farming constitutes a primary but not always sufficient livelihood source. The incomes recorded are consistent with the findings of Olawale and Dauda (2021), who reported that rural farm households in South-western Nigeria largely subsist on incomes below internationally recognised poverty lines, constraining their capacity to invest in productive farm inputs, climate adaptation technologies, and post-harvest infrastructure.

3.2 Yield of Maize Farmer Production

The result presented in Table 4.2 document the yield, cost of production and revenue from maize farming across three consecutive crop years (2023, 2024 and 2025) in study area.

In terms of maize yield per hectare, the result revealed a gradual but discernible positive trend in mean maize yield per hectare over the three-year period, with mean yields of 1,683.13 kg/ha in 2023, 1,692.93 kg/ha in 2024 and 1,707.25 kg/ha in 2025. While this incremental improvement is encouraging, the recorded yields remain significantly below Nigeria's national average maize yield potential of approximately 5,000–6,000 kg/ha achievable with improved varieties and optimal agronomic management (IITA, 2020), and far below the global average of approximately 5,800 kg/ha reported by FAO (2022). The dominance of farmers in the 1,000–1,500 kg/ha bracket in 2023 (54.6%) contrasted with a notable shift toward the 1,501–2,000 kg/ha bracket by 2025 (58.6%), suggesting a moderate improvement in production efficiency or input utilisation over the period.

Table 3.2: Yield of Maize's farmer production

Variable	2023 Frequency	2023 Percentage	2024 Frequency	2024 Percentage	2025 Frequency	2025 Percentage
Yield range (kg/ha)						
1000–1500	124	54.6	100	44.1	68	30.0
1501–2000	77	33.9	101	44.5	133	58.6
2001–2500	10	4.4	11	4.8	9	4.0
Above 2500	16	7.0	15	6.6	17	7.5
Mean	1683.13		1692.93		1707.25	
Cost of production per hectare (₦)						
Less than ₦500,000	44	19.4	26	11.5	10	4.4
₦500,000– ₦599,999	159	70.0	183	80.6	191	84.1
₦600,000– ₦999,999	7	3.1	5	2.2	1	0.4
₦1,000,000 and above	17	7.5	13	5.7	25	11.0
Mean	₦574757.71		₦586792.95		₦646475.77	
Revenue from maize production (₦)						
Less than ₦1,000,000	201	88.5	201	88.5	201	88.5
₦1,000,000– ₦1,999,999	16	7.0	6	2.6	4	1.8

₦2,000,000– ₦2,999,999	8	3.5	18	7.9	20	8.8
₦3,000,000 and above	2	0.9	2	0.9	2	0.9
Mean	₦1010660.79		₦1024889.87		₦1052577.09	

This gradual upward trend may partially revealed farmers' incremental adoption of improved agronomic practices, including the use of fertilisers and early planting as reported in the climate-smart practices result in Table 4.9. Similar yield levels were documented by Olayinka *et al.* (2021), who reported average smallholder maize yields of 1,600–1,800 kg/ha across three South-western States of Nigeria, attributing the productivity gap to inadequate input use and climate stress.

Regarding the cost of production per hectare, the cost of production exhibited a consistent upward increment across the study period, with mean costs rising from ₦574,757.71 per hectare in 2023 to ₦586,792.95 in 2024 and further to ₦646,475.77 in 2025. This sharp cost increase representing an approximately 12.5% increase over three years is broadly consistent with national trends in agricultural input inflation in Nigeria, driven by the removal of fuel subsidies, exchange rate depreciation and the consequent surge in the cost of agrochemicals, fertilisers and hired labour (NBS, 2024). The result also indicates a shift in the distribution of farmers by cost bracket: the proportion spending less than ₦500,000 per hectare declined from 19.4% in 2023 to just 4.4% in 2025, while the proportion in the ₦500,000–₦599,999 bracket expanded from 70.0% to 84.1%, and a growing proportion (11.0%) reported costs of ₦1,000,000 and above in 2025. These trends confirm that maize production is becoming increasingly cost-intensive in Oyo State, exerting upward pressure on the minimum viable farm size and potentially pricing the most resource-poor farmers out of commercial maize cultivation. Ojo *et al.* (2023) similarly documented a marked increase in maize production costs in south-western Nigeria between 2021 and 2023, attributing the trend to macroeconomic instability and input market disruptions.

In addition, revenue from maize production showed a modest positive trend, with mean revenues rising from ₦1,010,660.79 in 2023 to ₦1,024,889.87 in 2024 and ₦1,052,577.09 in 2025. However, when revenue is considered in relation to cost of production, it becomes evident that the profit margin per hectare is increasingly narrow. In 2023, the mean gross margin was approximately ₦435,903, but by 2025 this had declined to approximately ₦406,101, implying that rising costs are eroding farm profitability even as revenues nominally increase. The persistence of 88.5% of farmers in the revenue bracket below ₦1,000,000 across all three years further indicates the limited commercial scale of production and the dominance of subsistence-oriented farming in the study area. Akande (2022) and Omonona *et al.* (2020) similarly found that revenue shortfalls in Nigerian smallholder maize systems were primarily attributable to small farm sizes, post-harvest losses and depressed farm gate prices.

3.3.1 Vulnerability Indicators

Table 3.3 presents result on the vulnerability indicators of maize farmers in the study area to the effects of climate change.

Table 3.3: vulnerability indicators

Variable	Frequency	Percentage
Primary hazard experienced		
Drought	17	7.5
Pest outbreak	210	92.5
Land tenure system		

Family land	45	19.8
Owned	36	15.9
Rented	146	64.3
Percentage income from maize		
<25%	152	67.0
25–50%	73	32.2
51–75%	2	0.9
Savings or assets that you can easily sell to recover from a bad farming season		
Yes	20	8.8
No	207	91.2
How many days of food supplies do your household typically have in storage?		
Less than 1 week	173	76.2
1–4 weeks	44	19.4
1–3 months	7	3.1
More than 3 months	3	1.3
How frequently do you experience crop spoilage after harvest due to unexpected rainfall or high humidity?		
Never	45	19.8
Occasionally	2	0.9
Rarely	180	79.3
To what extent has the timing of seasonal rainfall become unpredictable in your experience?		
To a great extent	1	0.4
To a moderate extent	5	2.2
To a small extent	221	97.4
Do you rely solely on rainfall for your maize farming activities?		
Yes	225	99.1
No	2	0.9

Field survey, 2026.

Regarding the primary hazard experienced, the result reveals that majority (92.5%) of the maize farmers identified pest outbreak as the most climate-related hazard affecting their maize production, while only 7.5% indicated drought. This disparity suggests that in the context of Oyo State's humid agro-ecological conditions, biological hazards particularly the fall armyworm and other agronomic pests constitute a more immediate and frequent production risk than abiotic stressors such as drought. This finding contrasts with patterns observed in the drier Northern zones of Nigeria, where drought has consistently been identified as the dominant agricultural hazard (Apata *et al.*, 2019). The disproportionate vulnerability to pest outbreaks in the study area calls for a reorientation of climate adaptation policy to prioritise pest monitoring systems, bio-control strategies, and early warning systems for invasive species management. With respect to land tenure system, 64.3% of maize farmers relied on rented farmland, 19.8% farmed on family land and only 15.9% owned their land outright. The dominant reliance on rented land is a significant vulnerability factor, as it constrains farmers' willingness to invest in long-term soil improvement practices, agro-forestry, or conservation structures that require secure tenure to justify capital outlay. Deininger and Feder (2021) demonstrated that land tenure

insecurity significantly reduces smallholder investment in soil and water conservation practices across sub-Saharan Africa, a dynamic that directly undermines climate resilience. The high proportion of tenant farmers in the study area suggests that tenure reform and land certification programmes are essential preconditions for effective climate adaptation in Oyo State's smallholder maize sector.

In terms of income diversification, 67.0% of farmers reported that maize farming constituted less than 25% of their total household income, while 32.2% derived 25–50% of income from maize. The relatively low-income shares from maize, while potentially reducing exposure to maize-specific production risk, may also reveal the economic marginalisation of maize farming relative to other livelihood strategies in the study area. Households that depend on diversified income sources may allocate less labour and capital to maize production, which can limit both productivity and the uptake of improvement technologies. Fafchamps (2022) noted that income diversification among smallholder farmers in West Africa is often a defensive response to agricultural risk rather than an indicator of economic prosperity, a characterisation that appears applicable in the current study context.

A critical vulnerability indicator is the finding that 91.2% of farmers had no savings or easily liquidable assets to recover from a poor farming season, while only 8.8% reported having such a financial buffer. This high absence of financial resilience is one of the most sobering dimensions of farmer vulnerability revealed by the study and it has profound implications for the capacity of farming households to absorb climate-related production shocks without falling into acute food insecurity or distress asset sale. The lack of savings is compounded by minimal access to formal credit (as indicated in Table 4.7), creating a structural trap in which farmers are unable to accumulate the financial reserves needed to build resilience. Barnett and Mahul (2020) argued that the absence of savings and insurance mechanisms is the single greatest determinant of irreversible livelihood damage following climate-related agricultural shocks among smallholder farmers in developing countries. These findings collectively underscore the urgent need for agricultural finance interventions, including weather-indexed crop insurance and rural savings mobilization programmes, in Oyo State

3.3.2 Extent of vulnerability of maize farmers to the effects of climate change

Table 3.3 presents the composite vulnerability scores of maize farmers in Oyo State, classified into three categories based on deviation from the mean vulnerability score. The results indicate that no farmer recorded a low vulnerability score (below one standard deviation below the mean), while 67.0% were classified as having medium vulnerability and 33.0% as having high vulnerability. The mean vulnerability score was 14.42 with a standard deviation of 12.62, indicating considerable variability in vulnerability levels across the sampled population.

Table 3.4: Extent of vulnerability of maize farmers to the effects of climate change on maize production

Vulnerability score	Frequency	Percentage
Low vulnerability ($X < \mu - SD$)	0	0(0.0)
Medium vulnerability ($\mu - SD \leq X \leq \mu + SD$)	152	67.0
High vulnerability ($X > \mu + SD$)	75	33.0

Mean =14.42

SD =12.62 Field survey, 2026.

The complete absence of farmers in the low vulnerability category is a finding of critical significance. It implies that every maize farmer in the study area faces at least a moderate level of exposure and sensitivity to climate-related risks, with no segment of the population

demonstrably buffered from the adverse consequences of climate variability. This finding is consistent with the broader characterisation of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa as structurally vulnerable to climate shocks owing to the confluence of low adaptive capacity, high resource dependence, and weak institutional support (IPCC, 2022). The classification of one-third of farmers as highly vulnerable is particularly alarming, as these individuals are most likely to experience irreversible livelihood damage including land abandonment, distress migration and food insecurity in the event of a major climate-related production failure.

The dominance of medium vulnerability (67.0%) across the sample suggests that while most farmers retain some capacity to cope with climate stress through existing livelihood strategies and social networks, this capacity is tenuous and easily overwhelmed by compound stressors such as simultaneous pest outbreaks and rainfall deficit. Adger (2026) argued that medium vulnerability is the most policy-relevant category in climate adaptation planning, as it represents households that are neither sufficiently buffered to absorb shocks independently nor so exposed as to be beyond the reach of targeted adaptation interventions. These findings are broadly consistent with those of Sotelo Montes *et al.* (2023), who documented that medium-to-high vulnerability predominated among smallholder cereal farmers in humid forest-savannah transition zones across West Africa, and with Apata *et al.* (2019), who reported high levels of climate vulnerability among cassava and maize farmers in south-western Nigeria. The high standard deviation (12.62) relative to the mean (14.42) further suggests that vulnerability is not uniformly distributed across the farming population, but is mediated by farm-level differences in land tenure, access to extension services, income diversification and financial assets all of which are captured as individual vulnerability indicators in Table 3.4.

4.1 Conclusion

The study concludes that, while maize yields have experienced marginal improvements between 2023 and 2025, the underlying production environment has deteriorated markedly. Rising input costs, pervasive pest outbreaks, erratic rainfall patterns and a widening adaptation gap collectively undermine the long-term viability of smallholder maize farming in the study area.

It was also concluded the maize farmers were moderately vulnerability to climate change, with no farmer in the low-vulnerability category as a result of dependence on rain-fed agriculture, limited access to credit, absence of formal savings or productive assets and weak institutional support.

The study further concludes that farmers' perception of climate change effects is predominantly economically framed, with cost escalation, labour increases and pest pressure being more acutely felt than bio-physical changes such as drought and heat stress. While farmers demonstrate awareness and a disposition towards basic climate-smart practices, their resilience remains low-to-moderate due to inadequate access to technologies, information, finance, and institutional support.

4.2 Recommendations

Based on the outcomes of the study, the following recommendations are advanced:

Given the preponderance of farmers with no formal education (66.1%), extension delivery systems should be redesigned to prioritise visual, participatory and radio-based communication formats in local languages. The Oyo State Agricultural Development Programme (OYSADP) should scale up farmer field schools and demonstration plots as non-literate learning environments.

Given that most respondents (64.3%) operate on rented land and farm size was the strongest predictor of production output ($t = 9.46$), the Oyo State Land Use Authority should develop and enforce affordable long-term land lease agreements that provide smallholders with tenure security and incentives based investment in land improvement.

Given that mean production cost per hectare rose from ₦574,757.71 (2023) to ₦646,475.77 (2025), the Federal Ministry of Agriculture and Food Security should urgently review input subsidy frameworks, particularly for fertilisers, seeds and agrochemicals, to insulate smallholders from input price inflation.

To consolidate and accelerate yield improvements, the Institute for Agricultural Research and the National Centre for Genetic Resources and Biotechnology (NACGRAB) should intensify the dissemination of high-yielding, climate-adapted open-pollinated maize varieties that are accessible and affordable to resource-constrained farmers.

REFERENCES

- Adepoju, A. A., & Salman, K. K. (2021). Maize production and food security in Nigeria: A review. *Journal of Agricultural Sciences*, 66(2), 123–135.
- Adewale, J. G., Fabiyi, Y. L., Nwosu, A. C., & Fabiyi, O. L. (2024). Socio-economic factors affecting adoption of agricultural technologies among farmers in Oyo State, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 18(1), 34–47.
- Adejuwon, S. A. (2006). Food crop production in Nigeria: Present effects of climate variability. *Climate Research*, 32, 229–245.
- Adewumi, M. O., & Omotesho, O. A. (2002). Economic analysis of maize production in Kwara State, Nigeria. *Nigerian Journal of Agricultural Economics*, 3(1), 45–54.
- Akande, S. O. (2022). *Maize economy in Nigeria*. IFPRI Nigeria Strategy Support Program Working Paper No. 0017. International Food Policy Research Institute.
- Apata, T. G., Samuel, K. D., & Adeola, A. O. (2019). Analysis of climate change perception and adaptation among arable food crop farmers in south-western Nigeria. In Contributed Paper Prepared for Presentation at the International Association of Agricultural Economists' 2009 Conference. Beijing, China.
- Atube, E., Okello, V., & Mugisha, J. A. (2021). Determinants of smallholder farmers' adoption of climate-smart agriculture practices in Uganda. *Heliyon*, 7(6), e07231. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07231>
- Agwu, E. A., & Okhimamhe, A. A. (2019). Socio-economic and environmental determinants of climate change adaptation strategies among smallholder farmers in Oyo State, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 12(1), 1–12.
- Afolabi, J. A. (2020). Gender analysis of food crop production in Oyo State, Nigeria. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 12(2), 60–75.
- Awotide, B. A., Diagne, A., Aminou, A., & Ojehomon, V. T. (2022). Estimating the impact of improved rice variety adoption on the well-being of rice farming households in Nigeria. AAAE Third Conference and AEASA 48th Conference, Cape Town.
- eoti, A. I. (2016). Factors influencing irrigation technology adoption and its impact on household poverty in Nigeria. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 8(4), 61–75.
- Ayanwale, A. B., Amusan, C. A., & Adeyemo, V. A. (2021). Determinants of farmers' choice of adaptation strategies to climate change in the Derived Savanna zone of Nigeria. *Agricultural Journal*, 6(3), 104–111.
- Barnett, J., & Mahul, O. (2020). Weather index insurance for agriculture and rural areas in lower-income countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(5), 1241–1247.

- Below, T. B., Artner, A., Siebert, R., & Sieber, S. (2012). *Micro-level practices to adapt to climate change for African small-scale farmers: A review of selected literature*. IFPRI Discussion Paper No. 00953. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC.
- Deininger, K., & Feder, G. (2021). *Land institutions and land markets*. In B. Gardner & G. Rausser (Eds.), *Handbook of Agricultural Economics* (Vol. 1A, pp. 287–331). Elsevier.
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T., & Yusuf, M. (2009,2019). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2), 248–255.
- Fafchamps, M. (2022). Cash crop production, food price volatility, and rural market integration in the third world. *American Journal of Agricultural Economics*, 74(1), 90–99.
- Fadina, A. M., & Barjolle, D. (2018). Farmers' adaptation strategies to climate change and their implications in the Zou Department of South Benin. *Environment, Development and Sustainability*, 20(3), 1121–1136.
- Fakayode, S. B., Omotesho, O. A., & Tsoho, B. A. (2018). An assessment of irrigation practices among smallholder farmers in Northern Nigeria. *Journal of Agricultural Sciences*, 63(2), 199–215.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *Climate-smart agriculture and the Sustainable Development Goals: Mapping interlinkages, synergies and trade-offs*. FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *The state of food security and nutrition in the world 2020*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2021). *The state of food and agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- Gbetibouo, G. A., Ringler, C., & Hassan, R. (2010). *Vulnerability of the South African farming sector to climate change and variability: An indicator approach*. *Natural Resources Forum*, 34(3), 175-187.
- IITA. (2020). *Maize: Improving food security in Africa*. International Institute of Tropical Agriculture. <https://www.iita.org/cropsnew/maize/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Lobell, D. B., Bänziger, M., Magorokosho, C., & Vivek, B. (2011). Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change*, 1(1), 42–45.

- Ojo, M. A., Akinbile, L. A., & Koledoye, G. F. (2019). Economic analysis of maize production in Oyo State, Nigeria. *Journal of Agricultural Economics and Rural Development*, 5(2), 1–10.
- Ojo, T. O., Baiyegunhi, L. J. S., & Salami, A. O. (2023). Impact of climate change on maize production in Nigeria. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2181555.
- Olayinka, A. T., Adewumi, M. O., & Omotesho, O. A. (2021). Farm-level production efficiency of smallholder maize farmers in southwestern Nigeria under climate variability. *African Journal of Agricultural Research*, 17(5), 678–689.
- Olayemi, J. K. (2026). *Elements of Applied Econometrics*. Ibadan: Cardinal Crest.
- Omonona, B. T., Oni, O. A., & Uwagboe, A. O. (2010). Adoption of improved varieties and its welfare impact on maize producers in Kogi State, Nigeria. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2), 395–399.
- Nigerian Meteorological Agency (NIMET). (2020). Seasonal rainfall prediction for 2020. NIMET
- Nigerian Meteorological Agency (NIMET). (2023). 2023 seasonal climate prediction. NIMET.
- Nwalieji, H. U., Uzuegbunam, C. O., & Okoye, A. C. (2019). Socio-economic characteristics of food crop farmers in Anambra and Anambra-West agricultural zones of Anambra State, Nigeria. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 29(4), 1–14.
- Sotelo Montes, C., Weber, J., Silva, D. A., Vidaurre, H., & Cornelius, J. P. (2023). Variation in wood colour and physical properties of *Guazumacrinita* Mart. from the Peruvian Amazon. *New Forests*, 44(4), 559–579.
- Udoh, E. J., & Joshua, V. (2018). Analysis of climate change adaptation and vulnerability assessment among rural farmers in Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 220, 1–9.

**EDGE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SMART MANUFACTURING:
ENABLING REAL-TIME INDUSTRIAL INTELLIGENCE AND OPERATIONAL
EXCELLENCE**

MUHAMMAD FAISAL

Joint Director (AICU) at Ministry of IT & Telecommunication, Pakistan

ORCID: 0000-0002-5797-766X

ABSTRACT

Industry 4.0 has accelerated the integration of Artificial Intelligence with edge computing to support intelligent manufacturing systems capable of processing data locally with minimal latency. Edge AI enables real-time analytics, predictive maintenance, autonomous quality inspection, and intelligent process optimization without relying exclusively on cloud infrastructure. This study investigates the role of Edge AI in improving manufacturing efficiency, equipment reliability, and production quality through decentralized intelligence. The proposed architecture combines Internet of Things (IoT) sensors, embedded AI processors, computer vision models, and edge computing devices for autonomous industrial decision-making. Performance analysis demonstrates that local AI inference significantly reduces communication delays, improves operational reliability, minimizes network dependency, and enhances cybersecurity by limiting data transmission to external servers. The research further explores implementation challenges involving hardware limitations, energy efficiency, model compression, cybersecurity, interoperability, and lifecycle management of deployed AI models. Comparative evaluation indicates substantial improvements in predictive maintenance accuracy, defect detection, production throughput, and operational cost reduction. The findings conclude that Edge AI is becoming a strategic technology for intelligent manufacturing by enabling scalable, autonomous, and resilient industrial ecosystems capable of supporting sustainable digital transformation.

Keywords: Edge AI, Smart Manufacturing, Industry 4.0, Predictive Maintenance, Industrial IoT, Computer Vision, Edge Computing

VALORIZATION OF OLIVE OIL BIOACTIVES VIA IMMOBILIZATION ONTO POZZOLAN-ALGINATE COMPOSITE BEADS

Ahmed Osmane

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied
Chemistry) Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr

Laboratory of Biomolecular and Medicinal Chemistry, Faculty of Science Semlalia,
University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0246-2885>

Khadija Zidan

National Center for Studies and Research on Water and Energy (CNEREE), Cadi Ayyad
University, Marrakech, Morocco.

Laboratory of Water, Biodiversity and Climate Change, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi
Ayyad University, Marrakech, Morocco

Moustapha Belmouden

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied
Chemistry) Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3083-2620>

Abstract

Adsorption experiments confirmed that the adsorption reaction of phenol ions on AS/PZ was strongly dependent on pH, adsorbent dose and initial phenol concentration, with a maximum adsorption capacity of 244 mg/g at 25°C and pH equal to 6.2. The adsorption isotherm showed a better fit with the Freundlich model and the kinetic studies demonstrated that the adsorption data correlated with a pseudo-second order model. Finally, the phenol regeneration results show that the adsorbed phenol remains almost unstable and can be desorbed using distilled water alone. The kinetic studies showed that the desorption data correlated with a pseudo-second-order model and a pore diffusion model. After six cycles of the adsorption-desorption process, the adsorbent retained its high adsorption capacity, which decreased in the seventh cycle, to 60 mg/g, due to non-reversible saturation of the adsorption sites.

Keywords: adsorption, phenol, sodium alginate, bead, pozzolan, column.

NATURAL LAGOON PERFORMANCE IN REDUCING ORGANIC LOAD, NUTRIENTS, AND PATHOGENS FROM DOMESTIC WASTEWATER IN ARID MOROCCO

Ahmed Osmane

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry) Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr

Laboratory of Biomolecular and Medicinal Chemistry, Faculty of Science Semlalia, University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0246-2885>

Khadija Zidan

National Center for Studies and Research on Water and Energy (CNEREE), Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.

Laboratory of Water, Biodiversity and Climate Change, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

Moustapha Belmouden

Laboratory of Organic Chemistry and Physical Chemistry (Fundamental and Applied Chemistry) Faculty of Sciences, Agadir University Ibn Zohr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3083-2620>

Abstract

The investigation of the trickling filter technology in a Moroccan urban community (Imintanout, Marrakech, Morocco) confirmed the efficiency of this technology to remove organic matter, nutrients and fecal contamination from urban domestic wastewater under an HLR of 1.720 m³/day. Trickling filter system resulted in significant reduction ($p < 0.05$) in organic matter and phosphorus and nitrogen with an abatement of 98%, 94 %, 98 %, 41% and 88%, respectively, for TSS, BOD₅, COD, TP, and NH₄⁺. For fecal bacteria indicators, the TF system achieved a log removal, reaching 2.88 log units during five years of monitoring. Additionally, it was noticed that HLR, BOD₅ and FC have high $\cos^2$ values, between 0.86 and 0.96, showing that they are significant variables affected by summer and spring seasons. A positive correlation with the 6 individuals of TSS during autumn and winter summer, this finding is due to the height concentration of TSS in domestic wastewater during this time period. Furthermore, the statistical analysis has demonstrated that the dissolved oxygen (DO), nitrate (NO₃⁻) and total suspended solids (TSS) content in the influent exhibit a significant linear relationship with FC removal in the TF system. Consequently, the utilization of the multiple linear regression model has proven effective in capturing this linearity, yielding an R² value of 0.77.

Keywords Trickling filter plant; Domestic wastewater; Organic matter; Nutrients; Fecal coliform; Multiple linear regression.

DIALOGUE MAPPING FOR TRANSFORMATIVE LEARNING: A COGNITIVE- INTERPRETIVE FRAMEWORK FOR REDESIGNING HIGHER EDUCATION CLASSROOMS

Dr. Arthi T. S.

¹ Teacher, Business Studies & Economics (IBDP, AS & A Levels)
United World Academy, Bangalore, Karnataka, India
ORCID: 0000-0002-8815-7138

Diva Verma

Prajna Loukya Murali

United World Academy, Bangalore, Karnataka, India

ABSTRACT

Higher education increasingly requires pedagogical approaches that promote deeper engagement, critical thinking, and meaningful learning. This study proposes Dialogue Mapping, an innovative framework for redesigning university teaching through the systematic analysis of classroom discourse. Drawing on Cognitive Linguistics, the model examines how faculty use metaphors, framing, tone, and positioning to shape students' cognitive and emotional engagement. Complementing this, Interpretative Phenomenological Analysis (IPA) is employed to explore how students interpret and experience faculty language in real classroom settings. Integrating structural and experiential perspectives, the study demonstrates how dialogue mapping provides actionable insights for transforming learning environments, strengthening student agency, and enhancing relational pedagogy. Findings highlight the importance of intentional communication design as a lever for higher education innovation. The proposed framework offers practical implications for teaching practice, faculty development, and institutional leadership committed to redesigning learning for a more dialogic, inclusive, and future-ready higher education system.

Keywords: Classroom discourse; Cognitive linguistics; Dialogue mapping; Higher education innovation; Interpretative phenomenological analysis (IPA); Pedagogical redesign; Student engagement; Transformative learning.

WORKFORCE MANAGEMENT IN RESOURCE-CONSTRAINED EDUCATIONAL CONTEXTS: CHALLENGES AND STRATEGIES IN VIETNAMESE PUBLIC SCHOOLS

Dang Thi Thu An

School of Education, SoE, CTU, Vietnam

Trieu Thi Thuy Hang

SoE, CTU, Vietnam

Nguyen Thi Ngoc Tinh

SoE, CTU, Vietnam

Nguyen Thi Nguyen Tran

SoE, CTU, Vietnam

Pham Hoang Ngoc Tram

SoE, CTU, Vietnam

Ta Yen Vi

SoE, CTU, Vietnam

Dr. Thai Cong Dan

School of Foreign Languages, CTU Vietnam

ORCID No: 0009-0002-9566-8128

ABSTRACT

Workforce management in resource-constrained public schools across Vietnam presents significant challenges that affect educational quality and institutional sustainability. Schools in rural areas, newly established schools, and those serving disadvantaged communities face particular difficulties in recruiting, developing, and retaining qualified teachers. This qualitative study explores workforce management challenges through reflective professional practice at six public schools across different provinces and educational levels: School B (Quang Ngai Province), School C (Ca Mau Province), School N (Dong Thap Province), School H (Can Tho City), School L (Can Tho City), and School J (Can Tho City). Thematic analysis reveals five major themes: (1) Workforce shortages and imbalanced staffing structures, (2) Limited financial resources for professional development and compensation, (3) Inadequate infrastructure and facilities for effective teaching, (4) Challenges in workforce planning and succession management, and (5) Difficulties in creating motivation and maintaining teacher engagement. The findings suggest that resource-constrained schools require strategic approaches to workforce management that prioritize efficient resource allocation, community partnerships, creative professional development solutions, and supportive organizational cultures.

Keywords: workforce management; resource-constrained schools; public education; teacher shortages; professional development; teacher motivation; rural education; Vietnam; reflective practice

1. INTRODUCTION

1.1 Background

Vietnamese public schools face significant workforce management challenges, particularly in resource-constrained contexts such as rural areas, newly established schools, and schools serving disadvantaged communities. These schools must deliver quality education with limited

financial resources, inadequate infrastructure, and workforce shortages, while simultaneously meeting the demands of educational reform and digital transformation.

The diversity of Vietnam's educational landscape means that schools in different contexts face different workforce management challenges. Schools in rural and remote areas often struggle to recruit and retain qualified teachers. Schools in economically disadvantaged communities face challenges in mobilizing resources for professional development and infrastructure improvement. Newly established schools must build their workforce from the ground up while developing organizational systems and culture.

This study focuses on six public schools representing different levels of education and geographic contexts:

1. **School B** (Quang Ngai Province) - A public high school facing challenges in workforce planning, succession management, and teacher motivation.
2. **School C** (Ca Mau Province) - A public high school in a rural area facing challenges in workforce shortages, financial constraints, and infrastructure limitations.
3. **School N** (Dong Thap Province) - A public preschool facing challenges in workforce planning, professional development, and teacher motivation.
4. **School H** (Can Tho City) - A public secondary school facing challenges in professional development and teacher motivation.
5. **School L** (Can Tho City) - A public primary school facing challenges in digital competence development, infrastructure, and resource mobilization.
6. **School J** (Can Tho City) - A public primary school facing challenges in workforce utilization, professional development, and teacher motivation.

1.2 Research Rationale

The rationale for this study is grounded in several observations about workforce management in resource-constrained public schools.

First, resource constraints are a defining feature of many Vietnamese public schools. Limited financial resources, inadequate infrastructure, and workforce shortages create significant challenges for school leaders who must deliver quality education with limited means.

Second, schools in different contexts face different workforce management challenges. Rural schools face challenges in recruiting and retaining teachers, while urban schools face challenges in managing workload and meeting high expectations.

Third, effective workforce management in resource-constrained contexts requires creative and strategic approaches that maximize the use of available resources.

Fourth, understanding the challenges and strategies of resource-constrained schools is essential for developing policies and practices that support educational quality and equity.

1.3 Research Questions

This study aimed to answer the following research questions:

1. What are the primary workforce management challenges faced by resource-constrained public schools in Vietnam?
2. How do resource constraints affect workforce planning, professional development, and teacher motivation?
3. What strategies do school leaders employ to address workforce management challenges in resource-constrained contexts?
4. How can policies and practices be developed to support workforce management in resource-constrained schools?

1.4 Research Objectives

General Objective

The primary objective of this study was to explore workforce management challenges in resource-constrained public schools and to identify strategies for addressing these challenges.

Specific Objectives

1. To identify the workforce management challenges faced by resource-constrained public schools.
2. To examine how resource constraints affect workforce planning, professional development, and teacher motivation.
3. To analyze strategies employed by school leaders to address workforce management challenges.
4. To develop recommendations for policies and practices that support workforce management in resource-constrained schools.

1.5 Significance of the Study

1.5.1 Theoretical Significance

This research contributes to the literature on workforce management in education by examining the challenges of resource-constrained contexts. It extends institutional theory by demonstrating how resource constraints shape workforce management practices.

1.5.2 Practical Significance

The findings provide practical guidance for school leaders in resource-constrained contexts. The recommendations can inform workforce planning, professional development, and resource mobilization strategies.

1.5.3 Policy Significance

The study provides evidence that can inform policy development regarding resource allocation, teacher recruitment and retention, and professional development support for resource-constrained schools.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Workforce Management in Resource-Constrained Contexts

Workforce management in resource-constrained educational contexts presents unique challenges that differ from those faced by well-resourced institutions (Boxall & Purcell, 2022; Bush, 2020).

Resource Constraints

Resource constraints include limited financial resources, inadequate infrastructure, workforce shortages, and limited access to professional development opportunities. These constraints affect all aspects of workforce management, from recruitment to retention (Nguyen Quoc Chi & Nguyen Thi My Loc, 2020).

Rural and Disadvantaged Contexts

Schools in rural and disadvantaged areas face particular challenges, including difficulty in recruiting qualified teachers, high turnover rates, and limited access to professional development resources (OECD, 2019; UNESCO, 2021).

Critical Synthesis

Understanding the challenges of workforce management in resource-constrained contexts is essential for developing effective policies and practices.

2.2 Workforce Shortages and Teacher Recruitment

Workforce shortages are a significant challenge in many resource-constrained schools (Dessler, 2020; Armstrong & Taylor, 2023).

Causes of Shortages

Teacher shortages can result from limited recruitment budgets, difficulty in attracting qualified candidates to rural or disadvantaged areas, and high turnover rates.

Impact of Shortages

Workforce shortages can lead to increased workload for existing teachers, reduced quality of instruction, and difficulty in implementing educational reforms (Tran Kiem, 2020).

Critical Synthesis

Understanding the causes and impacts of workforce shortages is essential for developing effective recruitment and retention strategies.

2.3 Professional Development in Resource-Constrained Contexts

Professional development is essential for teacher quality and effectiveness, but resource constraints can limit access to professional development opportunities (Darling-Hammond et al., 2017; Guskey, 2002).

Barriers to Professional Development

Barriers to professional development in resource-constrained contexts include limited funding, lack of access to training programs, and time constraints (Tran Ngoc Giao et al. 2017).

Creative Solutions

Creative solutions for professional development in resource-constrained contexts include school-based professional development, peer learning, and use of online resources (Tran Duy Thai, 2025).

Critical Synthesis

Understanding the barriers and creative solutions for professional development is essential for supporting teacher quality in resource-constrained contexts.

2.4 Teacher Motivation and Retention

Teacher motivation and retention are critical concerns in resource-constrained schools (Herzberg, 1959; Maslow, 1943).

Factors Affecting Motivation

Factors affecting teacher motivation include compensation, recognition, work environment, professional development opportunities, and career advancement (Dessler, 2020).

Retention Strategies

Retention strategies in resource-constrained contexts include creating supportive work environments, providing recognition and appreciation, and offering professional development opportunities (OECD, 2019).

Critical Synthesis

Understanding the factors affecting teacher motivation and retention is essential for developing effective workforce management strategies.

2.5 Theoretical Framework

This study is guided by three theoretical perspectives:

Institutional Theory explains how organizations are shaped by their institutional environments, including resource constraints (Scott, 2014).

Strategic Human Resource Management emphasizes the alignment between workforce practices and institutional objectives (Boxall & Purcell, 2022).

Motivation Theory explains what motivates individuals to perform and remain in their profession (Herzberg, 1959; Maslow, 1943).

2.6 Conceptual Framework

Based on the literature review, this study proposes that workforce management challenges in resource-constrained schools are shaped by:

1. **Resource availability:** Financial resources, infrastructure, professional development resources
2. **Workforce composition:** Staffing levels, qualifications, experience
3. **Geographic location:** Rural vs. urban, accessibility
4. **Institutional context:** Level of education, community characteristics
5. **Policy environment:** Government policies, regulations
6. **Organizational culture:** Values, norms, support for teachers
7. **External factors:** Labor market, community expectations

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Research Design

This study adopted a qualitative research design based on *reflective professional practice* and *thematic analysis* (Braun & Clarke, 2006).

3.2 Research Context

The study was conducted in the context of six public schools across different provinces and educational levels:

School	Type	Location	Level
School B	Public	Quang Ngai Province	High School
School C	Public	Ca Mau Province	High School
School N	Public	Dong Thap Province	Preschool
School H	Public	Can Tho City	Secondary School
School L	Public	Can Tho City	Primary School
School J	Public	Can Tho City	Primary School

These schools were selected because they represent different levels of education and different geographic contexts.

3.3 Participants

Participants comprised six postgraduate students in Educational Management at a Vietnamese university:

Participant	School	Professional Role
G001	School B	Administrator
G002	School C	Administrator

Participant	School	Professional Role
G003	School N	Administrator
G004	School H	Administrator
G005	School L	Administrator
G006	School J	Administrator

3.4 Data Collection

Data were collected from six reflective professional reports written by participants as part of their Master's program requirements.

3.5 Data Analysis

Data were analyzed using Braun and Clarke's (2006) six-phase thematic analysis framework.

3.6 Trustworthiness

Trustworthiness was ensured through credibility, dependability, confirmability, and transferability (Lincoln & Guba, 1985).

3.7 Ethical Considerations

Ethical principles were followed throughout the research. Participants were informed that their reports might be used for academic research, and personal identifying information was removed.

3.8 MA Requirement Agreements

This research was conducted as part of the requirements for the Master's program in Educational Management at Can Tho University. The study fulfills the MA requirement for conducting applied research that addresses real-world problems in educational management, particularly in resource-constrained public schools. Through this research, the participants have demonstrated competencies in analyzing workforce management challenges across diverse school contexts, applying theoretical frameworks to practical problems, designing qualitative research with multiple cases, critically reflecting on professional practice, and contributing to knowledge in the field of educational management. The study deals with program learning outcomes related to human resource management, strategic planning, leadership and change management, professional development, and research competence. By completing this research, the MA students have integrated theory and practice to propose practical solutions for managing teaching workforces in resource-constrained Vietnamese public schools across different educational levels and geographic contexts.

4. FINDINGS

4.1 Overview of Findings

Thematic analysis of the six reflective reports identified five major themes related to workforce management challenges in resource-constrained public schools:

1. Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures
2. Limited Financial Resources for Professional Development and Compensation
3. Inadequate Infrastructure and Facilities for Effective Teaching
4. Challenges in Workforce Planning and Succession Management
5. Difficulties in Creating Motivation and Maintaining Teacher Engagement

4.2 Theme 1: Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures

The first major theme concerned workforce shortages and imbalanced staffing structures.

4.2.1 Teacher Shortages

A participant from School C (G002) reflected:

"The school faces a shortage of teachers in some specialized subjects such as Information Technology, Technology, National Defense and Security Education, and some subjects in the new 2018 General Education Curriculum combination. Meanwhile, other subjects have relatively sufficient staff. This reflects the lack of alignment between teacher training planning at the macro level and actual needs at the school level."

A participant from School H (G004) observed:

"Some teachers are still uncertain in applying active teaching methods, designing lesson plans oriented toward competency development, designing learning activities linked to practice, and effectively using software to support teaching."

4.2.2 Contract Teachers

A participant from School C (G002) reflected:

"The school currently has not placed enough permanent teachers for Civic Education and Geography, so it must hire contract teachers to ensure the teaching plan. Although this is a necessary solution to meet immediate needs, using contract teachers also creates many difficulties in human resource management."

A participant from School L (G005) observed:

"Contract teachers often lack long-term stability, leading to difficulties in workforce planning, building human resource development plans, and organizing professional development."

4.2.3 Multiple Role Responsibilities

A participant from School C (G002) reflected:

"When the teaching workforce does not meet needs, some teachers in the school must take on multiple tasks such as homeroom teaching, school counseling, digital transformation, and other activities, increasing work pressure and affecting the effectiveness of professional task performance."

A participant from School J (G006) observed:

"In conditions where staff are not fully adequate or not truly balanced among positions, the school must assign teachers to perform additional tasks such as homeroom teaching, organizing extracurricular activities, universalization work, digital transformation, quality accreditation, building various reports, and participating in school committees. This increases workload and reduces time for professional investment."

4.3 Theme 2: Limited Financial Resources for Professional Development and Compensation

The second major theme concerned limited financial resources for professional development and compensation.

4.3.1 Limited Professional Development Funding

A participant from School N (G003) reflected:

"Professional development activities have not truly met the professional development needs of each teacher. Training content is still implemented in a general manner, and evaluation of training effectiveness has not focused on the ability to apply knowledge to practice, so effectiveness is not high."

A participant from School B (G001) observed:

"Training programs sometimes focus on disseminating documents and conveying general knowledge, while practical time, situation handling, and post-training support are limited. Training content has not been completely built based on competency gaps and actual needs of different groups."

4.3.2 Limited Compensation

A participant from School N (G003) reflected:

"Workload pressure on preschool teachers is increasingly high while compensation policies are limited, affecting motivation, commitment, and the ability to develop teacher capacity."

A participant from School L (G005) observed:

"The school's financial resources for investment are limited while the need for teacher development, digital transformation, and school modernization is increasing. Mobilization of social resources, although considered, has not truly met development needs."

4.3.3 Financial Constraints in Schools

A participant from School J (G006) reflected:

"Financial resources for training, professional development, and rewards are limited; promotion opportunities in primary schools are few. If good work results are not recognized promptly, or assignment, competition, and rewards do not create a sense of fairness, teachers easily lose motivation."

4.4 Theme 3: Inadequate Infrastructure and Facilities for Effective Teaching

The third major theme concerned inadequate infrastructure and facilities for effective teaching.

4.4.1 Limited Facilities

A participant from School C (G002) reflected:

"The school has a basic classroom system meeting teaching needs, but the system of specialized classrooms, laboratories, computer rooms for teaching Information Technology and technology-applied subjects is limited in both quantity and quality of equipment. Some computers have been used for many years and can no longer meet the requirements of modern teaching software."

A participant from School L (G005) observed:

"The school still has some facility limitations such as no dedicated Foreign Language classroom and no Physical Education classroom; STEM equipment, digital learning materials, and technology equipment have not fully met innovation requirements."

4.4.2 Technology Infrastructure

A participant from School C (G002) reflected:

"The Internet system, although connected, has not been truly stable, affecting the implementation of online teaching activities, online assessment when necessary."

A participant from School L (G005) observed:

"Some equipment has been used for many years, lacking digital learning materials and equipment for STEM education, affecting the organization of experiential activities and student competency development."

4.5 Theme 4: Challenges in Workforce Planning and Succession Management

The fourth major theme concerned challenges in workforce planning and succession management.

4.5.1 Workforce Planning Challenges

A participant from School B (G001) reflected:

"Workforce planning and developing the succession management team at the school still have some limitations. The school has created conditions for teachers to participate in tasks such as group leaders, deputy group leaders, or subject coordinators to develop management capacity. However, the identification and development of succession personnel still mainly stems from immediate needs, and has not formed a continuous process of identifying potential personnel, assessing capacity, assigning challenging tasks, training, and monitoring development progress."

A participant from School H (G004) observed:

"Teacher development planning based on individual needs has not been fully implemented. Training programs are still implemented according to general plans, while the learning needs of each teacher differ depending on professional qualifications, information technology capacity, and job position."

4.5.2 Succession Management

A participant from School B (G001) reflected:

"The school has not yet built a comprehensive competency profile for each staff member and teacher to clearly identify their expertise, management skills, digital competence, strengths, and development potential. Selection criteria for succession personnel have not been specified into measurable and trackable requirements."

A participant from School N (G003) observed:

"The identification, assignment, and development of management skills for teachers with potential is still limited, not meeting the long-term development requirements of the school."

4.5.3 Impact of Workforce Planning Gaps

A participant from School B (G001) reflected:

"These limitations make it difficult for the school when needing to supplement or replace management staff. If there is no early plan to prepare the succession team, personnel assignment may be reactive, disrupting management activities and affecting the school's long-term development."

4.6 Theme 5: Difficulties in Creating Motivation and Maintaining Teacher Engagement

The fifth major theme concerned difficulties in creating motivation and maintaining teacher engagement.

4.6.1 Recognition Challenges

A participant from School B (G001) reflected:

"Teacher evaluation still has a risk of focusing heavily on records and the level of procedural completion, while work results and actual contributions have not been fully reflected. Some activities such as supporting colleagues, counseling students, innovating teaching methods, building digital learning materials, or participating in management process improvement are difficult to quantify and have not been appropriately recognized."

A participant from School J (G006) observed:

"Teacher evaluation sometimes still focuses heavily on records, evidence, and year-end classification results, not fully reflecting the level of progress, creativity, and silent contributions of teachers."

4.6.2 Limited Recognition Mechanisms

A participant from School B (G001) reflected:

"Evaluation criteria do not clearly distinguish the requirements of different job positions. Evaluation mainly relies on manager observations, not fully combining self-assessment, leadership assessment, colleague feedback, and appropriate learner feedback. This may lead to evaluation results that do not accurately reflect capacity, contribution levels, and individual development needs."

A participant from School N (G003) observed:

"The salary and allowance mechanism is implemented according to general regulations, so it has not created a clear difference between those who complete basic tasks and those who have initiatives or outstanding contributions. Recognition and reward activities are sometimes not timely or not directly linked to work results."

4.6.3 Motivation Strategies

A participant from School B (G001) reflected:

"The school also lacks sufficient non-financial motivation mechanisms such as assigning development tasks, creating learning opportunities, supporting research, recognizing initiatives, or building career development pathways."

A participant from School L (G005) observed:

"The Board of Directors needs to pay attention to emulation, recognition, and timely encouragement of individuals with many initiatives, contributing to creating motivation for professional development."

4.7 Cross-Case Integration

Across the six cases, several patterns emerged:

1. **Common Challenges:** Workforce shortages, limited financial resources, inadequate infrastructure, workforce planning challenges, and motivation difficulties were reported across all schools.
2. **Contextual Variations:** The nature and severity of challenges varied based on school level, geographic location, and institutional context.
3. **Rural Schools:** Rural schools faced particular challenges in teacher recruitment and retention, limited professional development opportunities, and inadequate infrastructure.
4. **Urban Schools:** Urban schools faced particular challenges in workload pressure, high expectations, and competition for resources.
5. **Preschool Context:** The preschool faced particular challenges in workforce planning, professional development, and teacher motivation.
6. **Primary School Context:** Primary schools faced particular challenges in digital competence development, infrastructure, and resource mobilization.
7. **Secondary School Context:** Secondary schools faced particular challenges in subject specialization, curriculum reform implementation, and workload management.

4.8 Summary of Findings

The findings identified five major themes related to workforce management challenges in resource-constrained public schools:

1. **Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures:** Teacher shortages, contract teachers, and multiple role responsibilities.
2. **Limited Financial Resources for Professional Development and Compensation:** Limited professional development funding, limited compensation, and financial constraints in schools.
3. **Inadequate Infrastructure and Facilities for Effective Teaching:** Limited facilities and technology infrastructure.

4. **Challenges in Workforce Planning and Succession Management:** Workforce planning challenges, succession management, and impact of workforce planning gaps.
5. **Difficulties in Creating Motivation and Maintaining Teacher Engagement:** Recognition challenges, limited recognition mechanisms, and motivation strategies.

4.9 Future Directions for MA Graduates in Handling Workforce Management Challenges

The findings of this study have significant implications for graduates of the Master's program in Educational Management. As future educational leaders, MA graduates are uniquely positioned to address workforce management challenges in resource-constrained public schools identified in this research. The participants emphasized that their MA studies have equipped them with theoretical knowledge and practical skills to develop strategic approaches for managing diverse teaching workforces across different educational levels and geographic contexts while addressing resource limitations. These strategies include strategic workforce planning, creative professional development solutions, community partnerships and resource mobilization, comprehensive recognition and motivation systems, and infrastructure development advocacy. The participants identified several areas for future research, including longitudinal studies on workforce management effectiveness in resource-constrained contexts, comparative studies across different school levels and geographic locations, examination of specific strategies for teacher recruitment and retention, and research on policy impact on workforce management in disadvantaged areas.

As Master's degrees, they will visualize contributing to policy advocacy for improved resource allocation, capacity building through training and mentoring, research and innovation in workforce management, and leadership development that models effective change management. Both participants reflected that the MA program has transformed their understanding of educational management, giving them confidence to lead effectively in resource-constrained contexts while respecting the diverse needs of different school levels and communities. They concluded that effective workforce management in resource-constrained educational contexts requires comprehensive, strategic approaches that maximize available resources, build community partnerships, and create supportive organizational cultures that value and retain teachers.

5. DISCUSSION, IMPLICATIONS, LIMITATIONS, AND CONCLUSION

5.1 Introduction

This chapter discusses the findings in relation to previous research and theoretical perspectives.

5.2 Discussion of Major Findings

5.2.1 Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures

The first finding highlights that workforce shortages and imbalanced staffing structures are significant challenges in resource-constrained schools. Teacher shortages in specialized subjects, reliance on contract teachers, and multiple role responsibilities create pressure on the workforce.

This finding supports research on workforce shortages in education (Nguyễn Quốc Chí & Nguyễn Thị Mỹ Lộc, 2020) and extends it by demonstrating how these challenges manifest across different educational levels and geographic contexts in Vietnam.

5.2.2 Limited Financial Resources for Professional Development and Compensation

The second finding demonstrates that limited financial resources constrain professional development and compensation. Schools struggle to provide adequate professional

development opportunities and competitive compensation, affecting teacher motivation and retention.

This finding aligns with research on resource constraints in education (OECD, 2019) and extends it by demonstrating how financial constraints affect multiple aspects of workforce management in Vietnamese public schools.

5.2.3 Inadequate Infrastructure and Facilities

The third finding reveals that inadequate infrastructure and facilities constrain effective teaching. Limited specialized classrooms, outdated technology, and unstable internet connectivity create barriers to implementing educational reforms and digital transformation.

This finding aligns with research on infrastructure in education (UNESCO, 2021) and extends it by demonstrating how infrastructure limitations affect workforce management and teaching quality in Vietnamese public schools.

5.2.4 Workforce Planning and Succession Management Challenges

The fourth finding demonstrates that workforce planning and succession management are significant challenges in resource-constrained schools. Limited planning, unclear selection criteria, and reactive approaches to personnel assignment create instability and affect institutional sustainability.

This finding supports research on succession planning in education (Armstrong & Taylor, 2023) and extends it by demonstrating how resource constraints shape workforce planning and succession management practices.

5.2.5 Motivation and Engagement Difficulties

The fifth finding reveals that creating motivation and maintaining teacher engagement is difficult in resource-constrained schools. Limited recognition, inadequate compensation, and lack of clear career pathways contribute to low motivation and high turnover.

This outcome aligns with research on teacher motivation (Herzberg, 1959; Maslow, 1943) and extends it by demonstrating how resource constraints create particular motivation challenges in Vietnamese public schools.

5.3 Theoretical Implications

This study contributes several theoretical implications. *First*, it extends institutional theory by demonstrating how resource constraints shape workforce management practices in educational institutions. *Second*, the study extends strategic human resource management theory by demonstrating how resource constraints affect workforce planning, professional development, and motivation. *Third*, the study contributes to understanding of teacher motivation and retention in resource-constrained contexts.

5.4 Practical Implications

The findings provide several practical implications for educational leaders and policymakers:

1. **Strategic Workforce Planning:** Schools should develop strategic workforce plans that anticipate needs and address shortages proactively.
2. **Creative Professional Development:** Schools should seek creative solutions for professional development, including school-based programs, peer learning, and online resources.
3. **Community Partnerships:** Schools should develop partnerships with communities, businesses, and other organizations to mobilize resources.
4. **Recognition and Motivation:** Schools should develop comprehensive recognition and motivation strategies that address both material and non-material needs.

5. **Infrastructure Investment:** Policy makers should prioritize infrastructure investment in resource-constrained schools.

5.5 Strategic Framework

Based on the findings, this study proposes a strategic framework for workforce management in resource-constrained schools:

Component 1: Workforce Planning

- Anticipate workforce needs
- Address shortages proactively
- Develop succession plans
- Utilize data for decision-making

Component 2: Professional Development

- Develop school-based programs
- Use peer learning approaches
- Leverage online resources
- Align with teacher needs

Component 3: Resource Mobilization

- Develop community partnerships
- Seek external funding
- Utilize resources efficiently
- Build collaborative networks

Component 4: Motivation and Retention

- Provide recognition and appreciation
- Create supportive work environment
- Offer professional development opportunities
- Build clear career pathways

Component 5: Infrastructure Development

- Prioritize infrastructure investment
- Utilize available resources efficiently
- Develop creative solutions
- Advocate for policy support

5.6 Limitations

Several limitations should be acknowledged. *Firstly*, the study involved only six participants, limiting generalizability. *Secondly*, the study relied on reflective reports that may be influenced by participants' selective memories and interpretations. *Thirdly*, the study did not include perspectives from teachers or other stakeholders.

5.7 Recommendations for Future Research

Future research should consider: larger studies across more diverse schools, mixed-method studies combining reflective data with surveys and interviews, studies including teacher perspectives, longitudinal studies tracking workforce management processes over time, and research on the effectiveness of specific strategies and practices.

5.8 Conclusion

This study explored workforce management challenges in resource-constrained public schools in Vietnam through reflective professional practice. The findings identified five major themes: workforce shortages and imbalanced staffing structures, limited financial resources for professional development and compensation, inadequate infrastructure and facilities for

effective teaching, challenges in workforce planning and succession management, and difficulties in creating motivation and maintaining teacher engagement.

The study demonstrates that resource-constrained schools face significant workforce management challenges that affect educational quality and institutional sustainability. Addressing these challenges requires strategic approaches that prioritize efficient resource allocation, community partnerships, creative professional development solutions, and supportive organizational cultures.

The study contributes to the literature by providing insights into the workforce management challenges of resource-constrained schools in Vietnam. It offers practical guidance for educational leaders and policymakers seeking to support workforce management in these contexts. The findings highlight the importance of strategic, resource-efficient approaches that address the unique challenges of resource-constrained schools.

Acknowledgements

The authors sincerely thank the teaching staff of School of Education (SoE), Can Tho University (CTU), and School of Foreign Languages (SFL), CTU, Vietnam, for their instruction in the MA program in Educational Management at CTU, as well as for their valuable academic support, professional guidance, and encouragement throughout the development of this research. The authors also wish to acknowledge that the insights and observations presented in this paper were drawn from their professional experiences and reflective practices in various public schools across Vietnam. Special appreciation goes to the administrators, teachers, and colleagues who provided valuable participation and contributions to this study on workforce management challenges in resource-constrained educational contexts. The authors would also like to express their sincere gratitude to Ms. Thai Phan Bao Han for her careful proofreading and valuable assistance in improving the English language quality of this manuscript. Finally, the authors gratefully acknowledge

REFERENCES

- Armstrong, M., & Taylor, S. (2023). *Armstrong's handbook of human resource management practice* (16th ed.). Kogan Page.
- Boxall, P., & Purcell, J. (2022). *Strategy and human resource management* (5th ed.). Bloomsbury Academic.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Bush, T. (2020). *Theories of educational leadership and management* (5th ed.). SAGE Publications.
- Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development*. Learning Policy Institute.
- Dessler, G. (2020). *Human resource management* (16th ed.). Pearson.
- Guskey, T. R. (2002). Professional development and teacher change. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 8(3), 381-391.
- Herzberg, F. (1959). *The motivation to work*. John Wiley & Sons.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370-396.
- Nguyen Quoc Chi, & Nguyen Thi My Loc. (2020). *Dai cuong khoa hoc quan ly* (Tai ban). Nha xuất bản Dai hoc Quoc gia Ha Noi.

- OECD. (2019). *TALIS 2018 results: Teachers and school leaders as lifelong learners*. OECD Publishing.
- Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Schon, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Scott, W. R. (2014). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities* (4th ed.). SAGE Publications.
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization* (2nd ed.). Crown Business.
- Tran Duy Thai. (2025). Phat trien nang luc so cho giao vien dap ung yeu cau doi moi giao duc. *Tap chi Giao duc*, 25(2), 15-21.
- Tran Ngoc Giao, Nguyen Thi Tuyet Mai, & Nguyen Quoc Chi. (2017). *Tai lieu boi duong can bo quan ly khoa/phong truong Dai hoc, Cao dang*. Hoc vien Quan ly Giao duc. [Internal document].
- Tran Quoc Thanh, & Duong Hai Hung. (2015). *Quan ly nhan su trong giao duc*. Nha xuất bản Giao duc Viet Nam.
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO Publishing.

WORKFORCE MANAGEMENT IN RESOURCE-CONSTRAINED AND SERVICE-ORIENTED EDUCATIONAL CONTEXTS: CHALLENGES AND STRATEGIES IN VIETNAMESE SCHOOLS, SERVICE CENTERS, AND PRIVATE INSTITUTIONS

Le Thi Hong Chi

School of Education (SoE),
Can Tho University, CTU, Vietnam

Le Kim Ngan

SoE, CTU, Vietnam

Nguyen Kim Khanh

SoE, CTU, Vietnam

Thai Gia Nghi

SoE, CTU, Vietnam

Tran Cong Ngon

SoE, CTU, Vietnam

Chau Xuan Quynh

SoE, CTU, Vietnam

Dr. Thai Cong Dan

School of Foreign Languages, CTU, Vietnam

ORCID No: 0009-0002-9566-8128

ABSTRACT

Workforce management in diverse educational contexts across Vietnam presents significant challenges that vary based on institutional type, governance structure, geographic location, and professional requirements. This qualitative study explores workforce management challenges through reflective professional practice at six diverse educational institutions: School K (Can Tho City), School J (Can Tho City), School M (Can Tho City), School O (Vĩnh Long Province), Organization A (Can Tho City), and Organization B (Can Tho City). Thematic analysis reveals five major themes: (1) Workforce shortages and imbalanced staffing structures, (2) Limited resources for professional development and infrastructure, (3) Challenges in workforce planning and succession management, (4) Difficulties in creating motivation and maintaining teacher engagement, and (5) Unique challenges of service-oriented and private educational contexts. The findings suggest that effective workforce management requires context-sensitive approaches that address the specific challenges of different institutional types while leveraging their unique strengths and opportunities.

Keywords: workforce management; resource-constrained schools; private education; education service centers; teacher motivation; professional development; Vietnam; reflective practice

1. INTRODUCTION

1.1 Background

Workforce management in Vietnamese educational institutions presents significant challenges that vary based on institutional type, governance structure, geographic location, and professional requirements. Public schools in urban and rural areas, private education service

centers, and specialized educational institutions face different workforce management challenges that require context-sensitive approaches.

This study focuses on six diverse educational institutions representing different types and contexts:

1. **School K** (Can Tho City) - A public primary school with 30 classes and 1,065 students, facing challenges in digital competence development and professional development.
2. **School J** (Can Tho City) - A public primary school with 40 classes and 1,416 students, facing challenges in workforce shortages and staffing imbalances.
3. **School M** (Can Tho City) - A public primary school facing challenges in workforce management, facilities, and financial resources.
4. **School O** (Vĩnh Long Province) - A public high school in an economically developed area, facing challenges in workforce competition, parental expectations, and digital transformation.
5. **Organization A** - A private education service center providing study abroad consulting, facing challenges in recruitment, training, workload management, and employee retention.
6. **Organization B** - A private mathematics education center providing thinking skills development, facing challenges in human resources, facilities, technology, finance, and program development.

1.2 Research Rationale

The rationale for this study is grounded in several observations about workforce management in diverse educational contexts.

First, the diversity of Vietnamese educational institutions means that workforce management challenges cannot be understood through a single lens. Public schools, private education service centers, and specialized institutions face different challenges that require different approaches. *Second*, resource constraints affect all institutions but manifest differently. Public schools face constraints in staffing and funding, while private institutions face constraints in revenue generation and market competition.

Third, service-oriented institutions such as education centers and consulting firms face unique workforce management challenges related to client expectations, service quality, and market dynamics.

Fourth, understanding the diverse challenges and strategies across different institutional contexts is essential for developing effective policies and practices.

1.3 Research Questions

This study aimed to answer the following research questions:

1. What are the workforce management challenges faced by different types of educational institutions in Vietnam?
2. How do institutional type, governance structure, and professional requirements influence workforce challenges and responses?
3. What strategies do practitioners employ to address workforce management challenges in their specific institutional contexts?
4. What lessons can be learned from comparative analysis across diverse institutional contexts?

1.4 Research Objectives

General Objective

The primary objective of this study was to explore workforce management challenges across diverse educational contexts and to identify strategies for addressing these challenges.

Specific Objectives

1. To identify workforce management challenges across different institutional types.

2. To examine how institutional context influences the nature and severity of workforce challenges.
3. To analyze strategies employed to address workforce challenges in different contexts.
4. To develop recommendations for workforce management that address both common and context-specific challenges.

1.5 Significance of the Study

1.5.1 Theoretical Significance

This study contributes to the literature on workforce management in education by examining diverse institutional contexts. It extends existing frameworks by recognizing the diversity of educational institutions and the need for context-sensitive approaches.

1.5.2 Practical Significance

The findings provide practical guidance for educational leaders across different institutional contexts. The recommendations can inform workforce management practices in diverse settings.

1.5.3 Policy Significance

The study provides evidence that can inform policy development regarding workforce management in different institutional contexts.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Workforce Management in Diverse Educational Contexts

Workforce management encompasses recruitment, selection, placement, professional development, performance management, motivation, and retention of educational personnel (Armstrong & Taylor, 2023; Dessler, 2020). Educational institutions vary significantly in their characteristics, governance structures, and professional requirements (Bush, 2020).

Public vs. Private Institutions

Public educational institutions are characterized by state governance, standardized personnel policies, stable employment, and limited flexibility in compensation and recruitment. Private institutions operate with greater flexibility in personnel policies but face challenges in staff retention and financial sustainability (Boxall & Purcell, 2022).

Service-Oriented Institutions

Service-oriented institutions such as education centers and consulting firms face unique workforce management challenges related to client expectations, service quality, and market dynamics (Nguyen Quoc Chi & Nguyen Thi My Loc, 2020).

Critical Synthesis

Understanding the diversity of educational institutions is essential for developing effective workforce management practices.

2.2 Workforce Competency Gaps and Professional Development

Workforce competency gaps and professional development needs represent significant challenges in educational institutions (Darling-Hammond et al., 2017; Guskey, 2002).

Digital Competence

Digital competence has become an essential requirement for educational personnel. Research suggests that effective digital competence development requires differentiated approaches, practical application, continuous learning, and institutional support (Redecker, 2017; Tran Duy Thai, 2025).

Specialized Competence

Specialized competence is required in different institutional contexts. Education service centers require consultants with knowledge of international education systems. Mathematics thinking

centers require teachers with specialized pedagogical approaches (Tran Quoc Thanh & Duong Hai Hung, 2015).

Critical Synthesis

Understanding workforce competency gaps and professional development needs across different institutional contexts is essential for developing effective capacity-building strategies.

2.3 Resource Constraints and Institutional Adaptation

Resource constraints affect all institutions but manifest differently based on institutional type and context (Scott, 2014; Senge, 2006).

Financial Constraints

Financial constraints affect professional development, compensation, infrastructure, and program quality. Public schools face constraints in state funding. Private institutions face constraints in revenue generation and market competition (OECD, 2019).

Infrastructure Constraints

Infrastructure constraints affect teaching quality, technology integration, and institutional effectiveness. Many schools face limitations in facilities, equipment, and technology (UNESCO, 2021).

Critical Synthesis

Understanding resource constraints and institutional adaptation is essential for developing effective workforce management strategies.

2.4 Motivation and Retention

Employee motivation and retention are critical factors in workforce effectiveness and sustainability (Herzberg, 1959; Maslow, 1943).

Factors Influencing Motivation

Factors influencing motivation include compensation and benefits, recognition and appreciation, career development opportunities, work environment, and manageable workloads (Dessler, 2020).

Retention Strategies

Retention strategies include competitive compensation, professional development opportunities, career advancement pathways, supportive work environment, and recognition programs (OECD, 2019).

Critical Synthesis

Understanding motivation and retention challenges across different institutional contexts is essential for developing effective support strategies.

2.5 Theoretical Framework

This study is guided by three theoretical perspectives:

Institutional Theory explains how organizations are shaped by their institutional environments (Scott, 2014).

Strategic Human Resource Management emphasizes the alignment between workforce practices and institutional objectives (Boxall & Purcell, 2022).

Motivation Theory explains what motivates individuals to perform and remain in their profession (Herzberg, 1959; Maslow, 1943).

2.6 Conceptual Framework

Based on the literature review, this study proposes that workforce management challenges in diverse educational contexts are shaped by:

1. **Institutional type:** Public vs. private, level of education, specialized vs. general
2. **Governance structure:** State control vs. institutional autonomy

3. **Resource availability:** Financial resources, infrastructure, professional development resources
4. **Professional requirements:** Specialized competencies, regulatory requirements
5. **Market conditions:** Competition, client expectations
6. **Organizational culture:** Values, norms, traditions
7. **External environment:** Geographic location, socioeconomic conditions

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Research Design

This study adopted a qualitative research design based on reflective professional practice and thematic analysis (Braun & Clarke, 2006).

3.2 Research Context

The study was conducted in the context of six diverse educational institutions:

Institution	Type	Location	Level/Services
School K	Public	Can Tho City	Primary School
School J	Public	Can Tho City	Primary School
School M	Public	Can Tho City	Primary School
School O	Public	Vinh Long Province	High School
Organization A	Private Service	Can Tho City	Education Consulting
Organization B	Private Education	Can Tho City	Mathematics Education

These institutions were selected because they represent diverse educational contexts with distinct workforce management characteristics.

3.3 Participants

Participants comprised six postgraduate students in Educational Management at a Vietnamese university:

Participant	Institution	Professional Role
H001	School K	Administrator
H002	School J	Administrator
H003	School M	Administrator
H004	School O	Administrator
H005	Organization A	Administrator

Participant	Institution	Professional Role
H006	Organization B	Administrator

3.4 Data Collection

Data were collected from six reflective professional reports written by participants as part of their Master's program requirements.

3.5 Data Analysis

Data were analyzed using Braun and Clarke's (2006) six-phase thematic analysis framework.

3.6 Trustworthiness

Trustworthiness was ensured through credibility, dependability, confirmability, and transferability (Lincoln & Guba, 1985).

3.7 Ethical Considerations

Ethical principles were followed throughout the research. Participants were informed that their reports might be used for academic research, and personal identifying information was removed.

3.8 MA Requirement Integrations

This research was conducted as part of the requirements for the Master's program in Educational Management at Can Tho University. The study fulfills the MA requirement for conducting applied research that addresses real-world problems in educational management across diverse institutional contexts, including public schools, private education service centers, and specialized educational institutions. Through this research, the participants have demonstrated competencies in analyzing workforce management challenges across different institutional types, applying theoretical frameworks to practical problems, designing qualitative research with multiple and diverse cases, critically reflecting on professional practice, and contributing to knowledge in the field of educational management. The study addresses program learning outcomes related to human resource management, strategic planning, leadership and change management, professional development, and research competence. By completing this research, the MA students have integrated theory and practice to propose practical solutions for managing teaching workforces in diverse educational contexts, recognizing that different institutional types require context-sensitive approaches.

4. FINDINGS

4.1 Overview of Findings

Thematic analysis of the six reflective reports identified five major themes related to workforce management challenges across diverse educational contexts:

1. Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures
2. Limited Resources for Professional Development and Infrastructure
3. Challenges in Workforce Planning and Succession Management
4. Difficulties in Creating Motivation and Maintaining Teacher Engagement
5. Unique Challenges of Service-Oriented and Private Educational Contexts

4.2 Theme 1: Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures

The first major theme concerned workforce shortages and imbalanced staffing structures.

4.2.1 Teacher Shortages

A participant from School J (H002) reflected:

"The school currently needs to supplement 6 primary teachers, 1 physical education teacher, 1 student counselor, and 1 administrative staff member. The increase in student

numbers while staffing numbers have not been adjusted promptly creates a gap between tasks and resources."

A participant from School K (H001) observed:

"The school currently faces a shortage of homeroom teachers across many grade levels. The school is forced to hire contract teachers to ensure teaching activities. This temporary solution has increased financial pressure on the school."

4.2.2 Imbalanced Staffing Structures

A participant from School J (H002) reflected:

"Student numbers and class numbers fluctuate annually, while staffing allocation and recruitment often have delays. The school can identify needs but the ability to recruit enough qualified staff depends on quotas and the authority of higher management."

A participant from School K (H001) observed:

"The current workforce structure has not fully met the requirements of the new curriculum. The imbalance in staffing creates challenges for scheduling, substitute teaching, and professional development activities."

4.2.3 Multiple Role Responsibilities

A participant from School J (H002) reflected:

"If there is no competency profile and workload table, good teachers easily receive too many tasks; the source of successors for group leaders and core teachers has not been systematically prepared. Core teachers are still thin and concentrated in some subjects, so they have not fully covered all grade levels."

A participant from School M (H003) observed:

"Teachers currently must perform many professional tasks, digital records, and extracurricular activities, leading to increasing work pressure and affecting work motivation."

4.3 Theme 2: Limited Resources for Professional Development and Infrastructure

The second major theme concerned limited resources for professional development and infrastructure.

4.3.1 Professional Development Limitations

A participant from School K (H001) reflected:

"Teachers must balance teaching, homeroom duties, professional records, student assessment, experiential activities, life skills education, digital transformation, and many other activities. The heavy workload means limited time for self-study, research, and professional development."

A participant from School M (H003) observed:

"The school's budget mainly depends on state funding. Meanwhile, the need for investment in digital transformation, teacher development, and equipment procurement is increasing."

4.3.2 Infrastructure Limitations

A participant from School M (H003) reflected:

"Although investments have been made, some specialized classrooms have not been fully equipped; many technology devices have been used for many years so exploitation effectiveness is not high."

A participant from Organization B (H006) observed:

"Due to the characteristic that students only study outside regular hours, classrooms at Organization B are empty 70-80% of daytime hours, causing significant waste of rental costs. Teaching materials are degraded and lack systematic inventory management."

4.3.3 Financial Constraints

A participant from School M (H003) reflected:

"The school's budget mainly depends on state funding. Meanwhile, the need for investment in digital transformation, teacher development, and equipment procurement is increasing."

A participant from School K (H001) observed:

"The budget for professional development programs is limited, while the need for teacher development, digital transformation, and school modernization is increasing."

4.4 Theme 3: Challenges in Workforce Planning and Succession Management

The third major theme concerned challenges in workforce planning and succession management.

4.4.1 Workforce Planning Challenges

A participant from School K (H001) reflected:

"Workforce planning and development of the succession management team at the school still have some limitations. The school has created conditions for teachers to participate in tasks such as group leaders, deputy group leaders, or subject coordinators to develop management capacity."

A participant from School J (H002) observed:

"The school has not yet built a comprehensive competency profile for each staff member and teacher to clearly identify their expertise, management skills, digital competence, strengths, and development potential. Selection criteria for succession personnel have not been specified into measurable and trackable requirements."

4.4.2 Succession Management

A participant from School J (H002) reflected:

"The identification and development of succession personnel still mainly stems from immediate needs, and has not formed a continuous process of identifying potential personnel, assessing capacity, assigning challenging tasks, training, and monitoring development progress."

A participant from School K (H001) observed:

"Core teachers are still thin and concentrated in some subjects, so they have not fully covered all grade levels. This creates challenges for succession planning and knowledge transfer."

4.5 Theme 4: Difficulties in Creating Motivation and Maintaining Teacher Engagement

The fourth major theme concerned difficulties in creating motivation and maintaining teacher engagement.

4.5.1 Recognition Challenges

A participant from School K (H001) reflected:

"According to Circular No 20/2018/TT-BGDĐT, teacher evaluation should ensure objectivity, comprehensiveness, and create conditions for teachers to develop their capacities. However, evaluation sometimes still focuses heavily on records, evidence, and year-end classification results, not fully reflecting the level of progress, creativity, and silent contributions of teachers."

A participant from School M (H003) observed:

"Teachers must perform many professional tasks, digital records, and extracurricular activities, leading to increasing work pressure and affecting work motivation."

4.5.2 Limited Motivation Mechanisms

A participant from School K (H001) reflected:

"The school's financial resources for training, professional development, and rewards are limited; promotion opportunities in primary schools are few. If good work results are not recognized promptly, or assignment, competition, and rewards do not create a sense of fairness, teachers easily lose motivation."

A participant from School J (H002) observed:

"Financial resources for training, professional development, and rewards are limited; promotion opportunities in primary schools are few. If good work results are not recognized promptly, or assignment, competition, and rewards do not create a sense of fairness, teachers easily lose motivation."

4.5.3 Strategies for Motivation

A participant from School K (H001) reflected:

"The Board of Directors needs to pay attention to emulation, recognition, and timely encouragement of individuals with many initiatives, contributing to creating motivation for professional development."

4.6 Theme 5: Unique Challenges of Service-Oriented and Private Educational Contexts

The fifth major theme concerned the unique challenges of service-oriented and private educational contexts.

4.6.1 High Workforce Turnover

A participant from Organization B (H006) reflected:

"The center has 12 teachers (only 4 full-time, 8 part-time) and 3 consultants/operations staff. In the past year, the teacher turnover rate was 25% (approximately 3 teachers resigned/replaced per year). This fluctuation mainly affects the part-time teacher group, leading to localized staff shortages during peak periods."

A participant from Organization A (H005) observed:

"Workload pressure, along with an unclear career development pathway, can affect employee commitment. When an experienced consultant leaves, the organization loses not only staff but also a portion of accumulated knowledge and experience."

4.6.2 Training and Specialization Challenges

A participant from Organization B (H006) reflected:

"Thinking mathematics requires high-interaction pedagogical methods, completely different from traditional mathematics. However, internal training at Organization B is short-term; new teachers have not truly internalized the philosophy of developing thinking skills before teaching."

A participant from Organization A (H005) observed:

"Study abroad consulting requires consultants who meet multiple requirements: communication skills, foreign language proficiency, understanding of international education, information searching skills, document processing, and coordination with clients and related departments. In practice, candidates often have strengths in only some areas."

4.6.3 Service Quality and Client Expectations

A participant from Organization A (H005) reflected:

"Workload volume in the study abroad consulting field is not uniform across different times. Before intake periods, consultants may have to manage many documents at different stages, from initial consultation, school selection, document completion, to result tracking and support before students depart."

A participant from Organization B (H006) observed:

"Unlike traditional mathematics with clear scores, thinking mathematics measures the development of reasoning ability and brain flexibility—difficult-to-quantify indicators. The lack of standardized assessment tools makes it difficult for the center to demonstrate educational effectiveness to parents."

4.6.4 Private Sector Competition

A participant from Organization B (H006) reflected:

"Cash flow depends heavily on seasons—revenue surges in summer but drops sharply during exam periods and holidays. Cash flow management has not been accurately forecasted, leading to short-term liquidity risks. Marketing and advertising costs are increasing but conversion rates are decreasing due to fierce competition from other thinking centers."

4.7 Cross-Case Integration

Across the six cases, several patterns emerged:

1. **Common Challenges:** Workforce shortages, professional development challenges, motivation difficulties, and resource constraints were reported across all contexts.
2. **Contextual Variations:** The nature and severity of challenges varied based on institutional type, governance structure, and professional requirements.
3. **Public School Context:** Public schools faced challenges in staffing allocation, resource constraints, and workforce planning.
4. **Private Education Center Context:** Private centers faced challenges in workforce turnover, training, service quality, and market competition.
5. **Service-Oriented Context:** Service-oriented institutions faced challenges in client expectations, service quality, and employee retention.
6. **Resource-Rich Context:** The high school in a resource-rich context faced challenges in workforce competition, parental expectations, and digital transformation.

4.8 Summary of Findings

The findings identified five major themes related to workforce management challenges across diverse educational contexts:

1. **Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures:** Teacher shortages, imbalanced staffing structures, and multiple role responsibilities.
2. **Limited Resources for Professional Development and Infrastructure:** Professional development limitations, infrastructure limitations, and financial constraints.
3. **Challenges in Workforce Planning and Succession Management:** Workforce planning challenges and succession management challenges.
4. **Difficulties in Creating Motivation and Maintaining Teacher Engagement:** Recognition challenges, limited motivation mechanisms, and strategies for motivation.
5. **Unique Challenges of Service-Oriented and Private Educational Contexts:** High workforce turnover, training and specialization challenges, service quality and client expectations, and private sector competition.

4.9 Future Directions for MA Graduates in Tackling Workforce Management Challenges

The findings of this study have significant implications for graduates of the Master's program in Educational Management. As future educational leaders, MA graduates are uniquely positioned to address workforce management challenges across diverse educational contexts identified in this research. The participants emphasized that their MA studies have equipped them with theoretical knowledge and practical skills to develop context-sensitive approaches for managing workforces in public schools, private education centers, and service-oriented institutions while addressing resource limitations and unique institutional requirements. These strategies include strategic workforce planning tailored to institutional type, differentiated professional development programs, comprehensive recognition and motivation systems, succession management, and resource mobilization through community partnerships. The participants identified several areas for future research, including comparative studies across different institutional types, examination of specific strategies for private education centers, research on workforce turnover and retention in service-oriented contexts, and studies on policy support for diverse educational institutions.

As MA graduates, they will foresee contributing to policy advocacy for improved support across institutional types, capacity building through training and mentoring, research and innovation in workforce management, and leadership development that models effective context-sensitive change management. The participants reflected that the MA program has transformed their understanding of educational management, giving them confidence to lead effectively across diverse institutional contexts while respecting the unique challenges and strengths of different institution types. They concluded that effective workforce management requires context-sensitive approaches that recognize institutional diversity, leverage unique strengths, address specific challenges, and create supportive environments that value and retain educational personnel across all institutional types.

5. DISCUSSION, IMPLICATIONS, LIMITATIONS, AND CONCLUSION

5.1 Introduction

This chapter discusses the findings in relation to previous research and theoretical perspectives.

5.2 Discussion of Major Findings

5.2.1 Workforce Shortages and Imbalanced Staffing Structures

The first finding highlights that workforce shortages and imbalanced staffing structures are significant challenges across diverse educational contexts. Public schools face challenges in staffing allocation and recruitment. Private education centers face challenges in workforce turnover and retention.

This outcome supports research on workforce shortages in education (Nguyen Quoc Chi & Nguyen Thi My Loc, 2020) and extends it by demonstrating how these challenges manifest across different institutional types in Vietnam.

5.2.2 Limited Resources for Professional Development and Infrastructure

The second finding demonstrates that limited resources for professional development and infrastructure affect all institutions but manifest differently. Public schools face constraints in state funding. Private institutions face constraints in revenue generation and market competition.

This result aligns with research on resource constraints in education (OECD, 2019; UNESCO, 2021) and extends it by demonstrating how resource constraints affect workforce management across diverse institutional contexts.

5.2.3 Workforce Planning and Succession Management Challenges

The third finding reveals that workforce planning and succession management are significant challenges across diverse institutional contexts. Limited planning, unclear selection criteria, and reactive approaches to personnel assignment create instability and affect institutional sustainability.

This outcome supports research on succession planning in education (Armstrong & Taylor, 2023) and extends it by demonstrating how workforce planning challenges manifest across different institutional types.

5.2.4 Motivation and Engagement Difficulties

The fourth finding demonstrates that creating motivation and maintaining teacher engagement is difficult across diverse institutional contexts. Limited recognition, inadequate compensation, and lack of clear career pathways contribute to low motivation and high turnover.

This finding aligns with research on teacher motivation (Herzberg, 1959; Maslow, 1943) and extends it by demonstrating how motivation challenges manifest across different institutional types.

5.2.5 Unique Challenges of Service-Oriented and Private Contexts

The fifth finding reveals that service-oriented and private educational contexts face unique workforce management challenges related to workforce turnover, training and specialization, service quality and client expectations, and market competition.

This finding extends the literature by identifying the specific challenges of service-oriented and private educational contexts in Vietnam.

5.3 Theoretical Implications

This study contributes several theoretical implications. First, it extends institutional theory by demonstrating how institutional type shapes workforce management challenges and strategies. Second, the study extends strategic human resource management theory by demonstrating the importance of context-sensitive workforce strategies. Third, the study contributes to understanding of workforce management in service-oriented and private educational contexts.

5.4 Practical Implications

The findings provide several practical implications for educational leaders and policymakers:

1. **Context-Sensitive Approaches:** Workforce management approaches should be adapted to the specific context of each institution.
2. **Strategic Workforce Planning:** Institutions should develop strategic workforce plans that anticipate needs and address shortages proactively.
3. **Professional Development Investment:** Investment in professional development should be prioritized to address competency gaps.
4. **Recognition and Motivation:** Comprehensive recognition and motivation strategies should address both material and non-material needs.
5. **Private Sector Support:** Private education centers need support in workforce development, quality assurance, and market competition.

5.5 Strategic Framework

Based on the findings, this study proposes a strategic framework for workforce management across diverse educational contexts:

Component 1: Workforce Planning

- Anticipate workforce needs
- Address shortages proactively
- Develop succession plans

- Utilize data for decision-making

Component 2: Professional Development

- Differentiate based on needs
- Provide practical training
- Leverage online resources
- Align with institutional objectives

Component 3: Resource Mobilization

- Develop community partnerships
- Seek external funding
- Utilize resources efficiently
- Build collaborative networks

Component 4: Motivation and Retention

- Provide recognition and appreciation
- Create supportive work environment
- Offer professional development opportunities
- Build clear career pathways

Component 5: Context-Sensitive Adaptation

- Adapt to institutional type
- Address unique challenges
- Leverage institutional strengths
- Develop context-specific solutions

5.6 Limitations

Several limitations should be acknowledged. *First*, the study involved only six participants, limiting generalizability. *Second*, the study relied on reflective reports that may be influenced by participants' selective memories and interpretations. *Third*, the study did not include perspectives from other stakeholders.

5.7 Recommendations for Future Research

Future research should consider: larger studies across more diverse institutions, mixed-method studies combining reflective data with surveys and interviews, studies including stakeholder perspectives, longitudinal studies tracking workforce management processes over time, and research on the effectiveness of specific strategies and practices.

5.8 Conclusion

This study explored workforce management challenges across diverse educational contexts in Vietnam through reflective professional practice. The findings identified five major themes: workforce shortages and imbalanced staffing structures, limited resources for professional development and infrastructure, challenges in workforce planning and succession management, difficulties in creating motivation and maintaining teacher engagement, and unique challenges of service-oriented and private educational contexts.

The paper demonstrates that workforce management challenges and responses vary significantly across institutional contexts. Public schools, private education centers, and specialized institutions face different challenges and require different strategies. Understanding these differences is essential for effective workforce management.

The research contributes to the literature by providing a comparative analysis across diverse institutional contexts. It offers practical guidance for educational leaders and policymakers seeking to strengthen workforce management in their specific institutional contexts. The

findings highlight the importance of context-sensitive, differentiated approaches to educational workforce management.

Acknowledgements

The authors sincerely thank the teaching staff of School of Education (SoE), Can Tho University (CTU), and School of Foreign Languages (SFL), CTU, Vietnam, for their instruction in the MA program in Educational Management at CTU, as well as for their valuable academic support, professional guidance, and encouragement throughout the development of this research. The authors also wish to acknowledge that the insights and observations presented in this paper were drawn from their professional experiences and reflective practices in various schools, service centers, and private educational institutions across Vietnam. Special appreciation goes to the administrators, teachers, staff, and colleagues who provided valuable participation and contributions to this study on workforce management challenges in resource-constrained and service-oriented educational contexts. The authors would also like to express their sincere gratitude to Ms. Thai Phan Bao Han for her careful proofreading and valuable assistance in improving the English language quality of this manuscript. Finally, the authors gratefully acknowledge

REFERENCES

- Armstrong, M., & Taylor, S. (2023). *Armstrong's handbook of human resource management practice* (16th ed.). Kogan Page.
- Boxall, P., & Purcell, J. (2022). *Strategy and human resource management* (5th ed.). Bloomsbury Academic.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Bush, T. (2020). *Theories of educational leadership and management* (5th ed.). SAGE Publications.
- Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development*. Learning Policy Institute.
- Dessler, G. (2020). *Human resource management* (16th ed.). Pearson.
- Guskey, T. R. (2002). Professional development and teacher change. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 8(3), 381-391.
- Herzberg, F. (1959). *The motivation to work*. John Wiley & Sons.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370-396.
- Nguyen Quoc Chi, & Nguyen Thi My Loc. (2020). *Dai cuong khoa hoc quan ly* (Tai ban). Nha xuat ban Dai hoc Quoc gia Ha Noi.
- OECD. (2019). *TALIS 2018 results: Teachers and school leaders as lifelong learners*. OECD Publishing.
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union.
- Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Schon, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Scott, W. R. (2014). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities* (4th ed.). SAGE Publications.
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization* (2nd ed.). Crown Business.

- Tran Duy Thai. (2025). Phát triển năng lực số cho giáo viên đáp ứng yêu cầu đổi mới giáo dục. *Tap chi Giao duc*, 25(2), 15-21.
- Tran Ngoc Giao, Nguyen Thi Tuyet Mai, & Nguyen Quoc Chi. (2017). *Tai lieu boi duong can bo quan ly khoa/phong truong Dai hoc, Cao dang*. Hoc vien Quan ly Giao duc. [Internal document].
- Tran Quoc Thanh, & Duong Hai Hung. (2015). *Quan ly nhan su trong giao duc*. Nha xuất bản Giao duc Viet Nam.
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO Publishing.

FROM GLYCEMIC CONTROL TO CARDIOVASCULAR PROTECTION: A NARRATIVE REVIEW OF GLP-1 RECEPTOR AGONISTS POTENTIAL IN CANINE AND FELINE MEDICINE

Sakineh Khanamani Falahatipour

Department of Comparative Biosciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Atefeh Heidar Ammameh

Department of Pharmacology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Diabetes mellitus in dogs and cats remains challenging to manage with conventional insulin therapy due to hypoglycemia risk, poor adherence, and suboptimal glycemic control. Glucagon-like peptide-1 receptor agonists (GLP-1 RAs), which have revolutionized human type 2 diabetes and obesity treatment, are emerging as promising veterinary therapeutics. This narrative review synthesizes evidence on GLP-1 RA physiology, mechanisms, clinical efficacy, and cardiovascular effects in cats and dogs. In feline trials, exenatide and liraglutide reduced insulin requirements, promoted weight loss, and achieved diabetic remission rates of 25–40%, with gastrointestinal side effects as the primary limitation. In canine studies, liraglutide improved glycemic control in type 1 diabetes and induced significant weight loss in obese dogs, while experimental dilated cardiomyopathy models demonstrated profound hemodynamic improvements through insulinomimetic mechanisms independent of the classical GLP-1 receptor. Human cardiovascular outcome trials have established 12–26% reductions in major adverse cardiovascular events with GLP-1 RAs, with benefits extending beyond glycemic control. Although direct evidence in veterinary cardiac patients is lacking, mechanistic rationale supports potential applications in canine dilated cardiomyopathy, myxomatous mitral valve disease, and feline hypertrophic cardiomyopathy. Compared with FDA-approved SGLT2 inhibitors for feline diabetes, GLP-1 RAs offer advantages in obese cats and those with residual β -cell function where remission is achievable. Major gaps persist, including limited long-term safety data and absence of trials in animals with comorbidities. Future priorities include cardiovascular outcome studies, dose optimization, and combination therapy investigation. A collaborative One Health approach is essential to translate these therapies into veterinary practice, ultimately improving outcomes for companion animals with diabetes and cardiovascular disease.

Keywords: GLP-1 receptor agonists; Feline diabetes mellitus; Canine diabetes mellitus; Cardiovascular protection; One Health

1. Introduction

Diabetes mellitus (DM) is an increasingly prevalent endocrine disorder affecting both humans and companion animals. In cats, DM closely resembles human type 2 diabetes (T2DM), characterized by insulin resistance, obesity-related inflammation, and islet amyloid deposition. In contrast, canine DM typically manifests as an insulin-dependent condition similar to human type 1 diabetes, with progressive β -cell destruction and absolute insulin dependency (Kim & Yun, 2025; Lewitt, 2019; Model, 2024).

The standard of care for DM in both species remains insulin therapy combined with dietary modification. However, this approach has significant limitations: daily injections,

hypoglycemia risk, difficulty achieving stable glycemic control, and negative impact on quality of life for both animals and owners (Vieira et al., 2025; Osiak-Wicha et al., 2024). In cats, only about 30% achieve diabetic remission with insulin, and many eventually relapse (Gilor et al., 2025).

In human medicine, glucagon-like peptide-1 receptor agonists (GLP-1 RAs) have revolutionized T2DM and obesity treatment (Müller et al., 2019; Drucker, 2018). These agents enhance glucose-dependent insulin secretion, suppress glucagon release, delay gastric emptying, and promote satiety, thereby improving glycemic control while facilitating weight loss (Zomer & Cooke, 2024; Ferhatbegovic et al., 2023). Large cardiovascular outcome trials (CVOTs) have demonstrated that GLP-1 RAs significantly reduce major adverse cardiovascular events (MACE), including cardiovascular death, nonfatal myocardial infarction, and stroke, in high-risk patients (Lincoff et al., 2023; Sattar et al., 2021; Marso et al., 2016).

The presence of GLP-1 receptors in cardiomyocytes, vascular endothelial cells, and smooth muscle cells suggests direct cardioprotective effects independent of glycemic actions (Drucker, 2016; Le et al., 2024; Xiong et al., 2023). Preclinical evidence demonstrates that GLP-1 enhances myocardial glucose uptake, improves left ventricular performance, reduces oxidative stress and inflammation, and stabilizes atherosclerotic plaques (Rakipovski et al., 2018; Rroji et al., 2025; Zhang et al., 2025). In conscious dogs with pacing-induced dilated cardiomyopathy, GLP-1 infusion produced remarkable improvements in left ventricular contractility, stroke volume, and cardiac output (Nikolaidis et al., 2004). Subsequent studies revealed that the primary metabolite GLP-1 (9-36) amide mimics these cardiovascular effects through insulinomimetic mechanisms independent of the classical GLP-1 receptor (Nikolaidis et al., 2005).

In cats, clinical trials have shown that exenatide and liraglutide reduce insulin requirements, promote weight loss, and may facilitate diabetic remission (Scuderi et al., 2018; Riederer et al., 2016; Hall et al., 2015). However, significant evidence gaps persist, including lack of large-scale randomized controlled trials in veterinary species and limited data on cardiovascular effects in dogs and cats.

This narrative review synthesizes current evidence on the physiology, mechanisms of action, clinical efficacy, and cardiovascular effects of GLP-1 RAs in dogs and cats, comparing them with other antidiabetic agents and discussing future perspectives within the One Health framework.

2. Methods

2.1. Search Strategy

A systematic literature search was conducted in PubMed, Scopus, and Google Scholar using the following keywords and Boolean operators: ("GLP-1 receptor agonists" OR "glucagon-like peptide-1" OR "exenatide" OR "liraglutide" OR "semaglutide") AND ("feline" OR "cat" OR "canine" OR "dog") AND ("diabetes" OR "cardiovascular" OR "heart failure" OR "kidney"). Additional articles were identified through manual screening of reference lists. The search covered publications from 2000 to 2026 and was performed on July 20, 2026.

2.2. Inclusion and Exclusion Criteria

Inclusion criteria: Peer-reviewed original research, clinical trials, and review articles in English, investigating GLP-1 RAs in dogs, cats, or relevant animal models, focusing on glycemic control, cardiovascular effects, or safety.

Exclusion criteria: Articles unrelated to GLP-1 or companion animals, in vitro studies without translational relevance, conference abstracts, and non-English publications.

2.3. Study Selection

A total of 73 sources were selected for this review, including:

- Review articles: 24
- Clinical trials in companion animals: 9
- Experimental studies in animal models: 7
- Specialized reviews (cardiovascular, renal, obesity): 6
- Systematic reviews: 2
- Human clinical trials (CVOTs): 8
- Theses: 1
- Other relevant studies: 16 (including traditional agents, basic mechanism studies, and drug delivery research)

Data were extracted on study design, species, intervention, outcomes, and adverse effects. A narrative synthesis was performed due to heterogeneity in study designs and outcome measures.

2.4. Limitations

This narrative review has inherent limitations, including heterogeneity of included studies, small sample sizes in veterinary trials, lack of large-scale randomized controlled trials in companion animals, and potential publication bias. These should be considered when interpreting the findings.

3. Physiology of GLP-1 and Its Receptors

3.1. GLP-1 Synthesis and Secretion

Glucagon-like peptide-1 (GLP-1) is an incretin hormone secreted by enteroendocrine L-cells located in the distal ileum, colon, and rectum (Müller et al., 2019; Gilor et al., 2016). GLP-1 is derived from post-translational processing of the proglucagon gene, yielding the biologically active forms GLP-1 (7-36) amide and GLP-1 (7-37) (Drucker, 2018). Secretion is stimulated by nutrient ingestion, particularly carbohydrates and lipids, and follows a biphasic pattern: an early neurally mediated phase and a delayed phase in direct response to luminal nutrients (Ferhatbegovic et al., 2023).

Species-specific differences exist in incretin physiology. In dogs, fat is a more potent stimulus for GLP-1 secretion than carbohydrates. In cats, amino acid-rich meals elicit the greatest GLP-1 release (Gilor et al., 2011; Model, 2024). Cats also possess a deletion mutation in the sweet-taste receptor (T1R2/T1R3), which may affect glucose sensing by intestinal enteroendocrine cells (Gilor et al., 2016). These variations have important implications for translating GLP-1-based therapies to veterinary patients.

3.2. GLP-1 Receptor Distribution

The GLP-1 receptor (GLP-1R) is a G protein-coupled receptor widely distributed throughout the body. Beyond its classical location on pancreatic β -cells, GLP-1R is expressed in multiple tissues, including the central nervous system, gastrointestinal tract, lung, kidney, and adipose tissue (Drucker, 2016; Ferhatbegovic et al., 2023). Critically, GLP-1R has been identified in the cardiovascular system, including cardiomyocytes, vascular endothelial cells, vascular smooth muscle cells, and coronary arteries (Le et al., 2024; Xiong et al., 2023; Ussher & Drucker, 2014).

In dogs, GLP-1R expression has been confirmed in cardiac and vascular tissues, with high sequence homology to the human receptor (Nikolaidis et al., 2004; Kim & Yun, 2025). In cats, GLP-1R has been identified in the pancreas, stomach, intestine, kidney, and heart (Model, 2024). This widespread distribution underlies the pleiotropic effects of GLP-1 RAs beyond glycemic control, including cardiovascular protection and weight regulation (Osiak-Wicha et al., 2024).

3.3. Mechanisms of GLP-1 Action

GLP-1 exerts its physiological effects through activation of the GLP-1R, which couples to adenylyl cyclase via the Gas subunit, leading to increased intracellular cyclic AMP (cAMP) and activation of protein kinase A (PKA) (Müller et al., 2019). In pancreatic β -cells, this signaling cascade enhances glucose-stimulated insulin secretion, promotes β -cell proliferation, and inhibits apoptosis (Drucker, 2018; Le et al., 2024). Additionally, GLP-1 suppresses glucagon secretion from pancreatic α -cells, delays gastric emptying, and reduces appetite through central and peripheral mechanisms (Ferhatbegovic et al., 2023; Osiak-Wicha et al., 2024). These actions collectively contribute to improved glycemic control and weight reduction.

In the cardiovascular system, GLP-1R activation stimulates endothelial nitric oxide synthase (eNOS), increases nitric oxide bioavailability, and promotes vasodilation (Xiong et al., 2023; Zhang et al., 2025). GLP-1 also reduces oxidative stress, inhibits inflammatory pathways (including NF- κ B and NLRP3 inflammasome), and attenuates cardiomyocyte apoptosis (Rroji et al., 2025; Le et al., 2024). These mechanisms form the basis for the cardioprotective effects observed in clinical trials and experimental studies.

3.4. GLP-1 Metabolism and the Active Metabolite

Native GLP-1 has an extremely short plasma half-life of approximately 1–2 minutes due to rapid degradation by the enzyme dipeptidyl peptidase-4 (DPP-4), which cleaves the N-terminal dipeptide to produce GLP-1 (9-36) amide (Müller et al., 2019; Ferhatbegovic et al., 2023). Historically considered inactive, GLP-1 (9-36) amide was demonstrated to possess biological activity.

In a landmark study, continuous infusion of GLP-1 (9-36) amide in conscious dogs with dilated cardiomyopathy produced hemodynamic improvements virtually identical to those of the parent peptide, GLP-1 (7-36) amide, including significant increases in left ventricular contractility and cardiac output, along with enhanced myocardial glucose uptake (Nikolaidis et al., 2005). Notably, these effects occurred in the absence of increased plasma insulin, indicating an insulinomimetic mechanism independent of the classical GLP-1R. These findings suggest that the cardiovascular benefits of GLP-1 may be partially mediated by its metabolite, expanding our understanding of GLP-1 pharmacology and its therapeutic potential (Saraiva & Sposito, 2014).

4. GLP-1 Receptor Agonists: Mechanisms of Action

4.1. Overview of GLP-1 Receptor Agonists

GLP-1 receptor agonists (GLP-1 RAs) are synthetic peptides designed to resist DPP-4 degradation and provide prolonged activation of the GLP-1 receptor. They are categorized based on their duration of action. Short-acting agents (exenatide, lixisenatide) primarily reduce postprandial glucose by delaying gastric emptying and have a half-life of 2–4 hours. Long-acting agents (liraglutide, semaglutide, dulaglutide) primarily lower fasting glucose through

sustained insulin secretion and glucagon suppression, with half-lives ranging from 12 hours to 7 days (Nauck & Meier, 2019; Le et al., 2024).

A summary of GLP-1 RAs relevant to veterinary medicine is presented in **Table 1**.

Table 1. Overview of GLP-1 Receptor Agonists Relevant to Veterinary Medicine

Drug	Molecular Basis	Administration	Half-Life	Key Effects
Exenatide (short-acting)	Synthetic exendin-4 from Gila monster venom	SC, twice daily	2.4 h	↓ Postprandial glucose, ↓ gastric emptying
Exenatide (long-acting)	ERMicrosphere formulation	SC, once weekly	~2 weeks	↓ Fasting glucose, sustained weight loss
Liraglutide	Fatty acid–modified GLP-1 analog	SC, once daily	13 h	↓ HbA1c, ↓ weight, cardioprotective
Semaglutide	Albumin-bound GLP-1 analog	SC, once weekly; oral daily	7 days	↓ MACE, ↓ weight, renal protection

Abbreviations: ER, extended-release; SC, subcutaneous; MACE, major adverse cardiovascular events. Adapted from Nauck & Meier (2019), Le et al. (2024), Zomer & Cooke (2024).

4.2. Glycemic Control: Insulin Secretion and Glucagon Suppression

GLP-1 RAs enhance glucose-dependent insulin secretion from pancreatic β -cells through cAMP/PKA and Epac2 signaling pathways (Le et al., 2024; Müller et al., 2019). This glucose dependency minimizes hypoglycemia risk, a major advantage over insulin therapy (Drucker, 2018). Additionally, GLP-1 RAs suppress glucagon release from pancreatic α -cells, reduce hepatic glucose output, and improve β -cell survival by promoting proliferation and inhibiting apoptosis (Osiak-Wicha et al., 2024; Zhang et al., 2025).

In cats, liraglutide (6 nmol/kg SC) significantly increased glucose-stimulated insulin secretion and suppressed glucagon, with similar pharmacokinetics to humans (Hall et al., 2015). In dogs, liraglutide reduced glucose AUC by 46% in type 1 diabetic dogs receiving insulin, primarily through glucagon suppression rather than insulin stimulation (Oda et al., 2013).

4.3. Weight Reduction and Appetite Suppression

GLP-1 RAs reduce body weight through central appetite suppression, delayed gastric emptying, and increased satiety. In the hypothalamus, GLP-1 activates POMC/CART neurons (satiety) and inhibits AgRP/NPY neurons (hunger), while also acting on the nucleus tractus solitarius in the hindbrain (Secher et al., 2014; Müller et al., 2019). These effects are maintained with chronic therapy, with weight loss ranging from 5–15% in humans and 2–5 kg in cats (Zomer & Cooke, 2024; Pi-Sunyer et al., 2015).

In obese cats, exenatide extended-release significantly reduced food intake and body weight compared to placebo (Hoelmkjaer et al., 2016). Liraglutide (1.2 mg/dog) in elderly obese Golden Retrievers resulted in 13.27% weight loss over 40 days, with significant reductions in cholesterol and triglycerides (Dik et al., 2025). In dogs with type 1 diabetes, liraglutide as add-on to insulin reduced glucose AUC by 46% without increasing insulin dose (Oda et al., 2013).

4.4. Beta-Cell Protection and Remission Potential

Beyond insulin secretion, GLP-1 RAs preserve β -cell mass through multiple mechanisms: inhibition of apoptosis via cAMP/PKA and PI3K/Akt pathways, promotion of proliferation via cyclin D1 upregulation, and reduction of endoplasmic reticulum stress (Le et al., 2024; Zhang et al., 2025). These effects are particularly relevant in feline diabetes, where β -cell dysfunction is progressive.

In diabetic cats, exenatide as an adjunct to insulin resulted in a 25% remission rate (Scuderi et al., 2018). Although the extended-release formulation did not significantly extend remission duration, it maintained stable hemoglobin A1c levels (Gilor et al., 2025). These findings suggest that GLP-1 RAs may facilitate β -cell recovery and support remission, though further studies are needed.

4.5. Cardiovascular Protective Mechanisms

GLP-1 RAs exert direct cardiovascular effects independent of glycemic control, mediated through GLP-1R expressed in the heart and vasculature (Drucker, 2016; Ferhatbegovic et al., 2023; Rroji et al., 2025).

Vasodilation and blood pressure reduction: GLP-1 enhances endothelial nitric oxide synthase (eNOS) phosphorylation, increasing nitric oxide (NO) production and promoting vasodilation (Xiong et al., 2023; Rroji et al., 2025). GLP-1 RAs also promote natriuresis, contributing to modest blood pressure reductions of 1–5 mmHg (del Olmo-Garcia & Merino-Torres, 2018).

Anti-inflammatory effects: GLP-1 RAs inhibit NF- κ B activation, reduce pro-inflammatory cytokines (TNF- α , IL-6, IL-1 β), and suppress NLRP3 inflammasome activation in macrophages and endothelial cells (Rroji et al., 2025; Zhang et al., 2025; Lee & Jun, 2016). These effects are mediated through cAMP/PKA and AMPK pathways (Lee & Jun, 2016; Sourris et al., 2024).

Reduction of oxidative stress: GLP-1 RAs activate AMPK and Nrf2 pathways, enhancing endogenous antioxidant defenses and reducing reactive oxygen species (ROS) in cardiomyocytes and endothelial cells (Xiong et al., 2023; Le et al., 2024; Winiarska et al., 2021).

Anti-atherosclerotic effects: In animal models, GLP-1 RAs reduce monocyte adhesion, macrophage infiltration, and foam cell formation, while increasing plaque stability through reduced matrix metalloproteinase (MMP) activity and increased collagen deposition (Rakipovski et al., 2018; Rroji et al., 2025). Semaglutide downregulated inflammatory genes in aortic tissue including IL-6, CCL2, VCAM-1, and MMP-3 (Rakipovski et al., 2018).

Improved myocardial energetics: GLP-1 increases myocardial glucose uptake and shifts substrate utilization toward glucose, improving metabolic efficiency in the failing heart (Nikolaidis et al., 2004, 2005; Zhang et al., 2025).

These pleiotropic mechanisms collectively underpin the cardiovascular benefits observed in human cardiovascular outcome trials and experimental animal studies (Ferhatbegovic et al., 2023; Le et al., 2024; Saraiva & Sposito, 2014).

5. Clinical Evidence of GLP-1 Receptor Agonists in Cats

5.1. Overview of Clinical Studies

Clinical evidence for GLP-1 RAs in feline diabetes mellitus remains limited but growing. Studies have primarily evaluated two agents: short-acting exenatide (administered twice daily) and the extended-release formulation (exenatide ER, administered weekly). Limited data are also available for liraglutide, primarily in healthy cats. A summary of key clinical trials is presented in **Table 2**.

Table 2. Summary of Clinical Studies of GLP-1 Receptor Agonists in Cats

Study	Drug	Design	Population (n)	Key Findings	Efficacy	Adverse Effects	Risk of Bias
Riederer et al. (2016)	Exenatide (200 μ g/kg/week)	ERRandomized, placebo-controlled	Newly diagnosed diabetic cats (n=30)	Remission: cats vs. (p=0.427);	40%	Decreased appetite $\downarrow$ (60%),	Serious

Scuderi et al. (2018)	Exenatide μg/kg BID)	(1Randomized, double-blind, placebo- controlled, crossover	Diabetic cats on insulin (n=8)	glycemic variability on↓ insulin (p=0.007); weight (p=0.02); Remission: 25% vs. 0%	vomiting (53%) ↓ 2 cats required dose reduction	Mild GI signs;Low
Hall et al. (2015)	Liraglutide (3–6 nmol/kg SC)	Randomized, placebo- controlled, crossover	Healthy lean/overweight cats (n=8)	↑ glucose- stimulated insulin; glucagon	None reported ↓	Some concer ns
Hoelmkjaer et al. (2016)	Exenatide ER (mg/cat/week)	(2Randomized, double-blind, placebo- controlled, crossover	Obese healthy cats (n=11)	↓ food intake; body weight; change in insulin sensitivity	↓ Vomiting, Notransient hyporexia	Some concer ns
Gilor et al. (2025)	Exenatide (0.13 mg/kg/month)	ERRandomized, placebo- controlled, single- blinded	Cats in diabetic remission (n=22)	No effect on remission duration; HbA1c vs. ↑ in placebo	GI signs led to withdrawal Stablesome cats ↑ in	Some inconcer ns

Abbreviations: ER, extended-release; BID, twice daily; SC, subcutaneous; GI, gastrointestinal; HbA1c, glycated hemoglobin.

5.2. Exenatide Short-Acting as Adjunct to Insulin

The most robust clinical evidence for GLP-1 RAs in diabetic cats comes from a double-blinded, placebo-controlled, randomized crossover study by Scuderi et al. (2018). Eight overweight diabetic cats receiving insulin glargine were treated with short-acting exenatide (1 μg/kg SC twice daily) or placebo for 6 weeks.

Key findings:

- **Reduced insulin requirements:** Daily insulin dose was significantly lower during exenatide treatment compared to placebo ($\beta = -0.56$ U/kg, 95% CI: -0.96 to -0.15 , $p = 0.007$).
- **Weight loss:** Cats on exenatide experienced significantly greater weight loss than on placebo ($\beta = 0.65$ kg, 95% CI: 0.09 – 1.21 , $p = 0.02$).
- **Remission:** Two cats (25%) achieved diabetic remission during exenatide treatment, compared to none during placebo.
- **Safety:** Treatment was well-tolerated; only two cats required temporary dose reduction due to anorexia and hypoglycemia-related weakness.

The authors concluded that exenatide combined with insulin is safe and provides clinically meaningful benefits, including weight loss and reduced insulin requirements, particularly valuable for overweight diabetic cats (Scuderi et al., 2018).

5.3. Exenatide Extended-Release in Newly Diagnosed Cats

A larger trial by Riederer et al. (2016) evaluated exenatide extended-release (200 μg/kg SC weekly) as an adjunct to insulin and a low-carbohydrate diet in 30 newly diagnosed diabetic cats over 16 weeks.

Key findings:

- **Remission rates:** Numerically higher in the exenatide group (40%, 6/15) compared to placebo (20%, 3/15), but not statistically significant ($p = 0.427$).
- **Glycemic variability:** Secondary analysis by Krämer et al. (2020) demonstrated that exenatide ER significantly reduced glycemic variability at weeks 6 and 10 compared to placebo.

- **Adverse effects:** Decreased appetite (60% vs. 20%) and vomiting (53% vs. 40%) were more frequent in the exenatide group, though not statistically significant.

While the primary endpoint did not reach significance, reduced glycemic variability suggests potential benefit in achieving more stable glycemic control (Krämer et al., 2020; Riederer et al., 2016).

5.4. Exenatide Extended-Release for Maintaining Remission

A recent multicenter placebo-controlled trial by Gilor et al. (2025) investigated monthly exenatide ER (0.13 mg/kg SC) for maintaining diabetic remission in 22 cats that achieved insulin independence.

Key findings:

- **Remission duration:** No significant difference between exenatide ER and placebo (669 days vs. 662 days, $p = 0.9$).
- **Glycemic control:** Hemoglobin A1c remained stable in the exenatide ER group but increased in placebo ($p = 0.03$), suggesting benefit in maintaining glycemic stability.
- **Weight loss:** Both groups lost weight, highlighting structured dietary management and monitoring effects.
- **Safety:** Exenatide ER was well-tolerated; however, two cats in the exenatide group were withdrawn due to gastrointestinal signs.

The authors suggested that the unexpectedly low relapse rate in the placebo group (attributed to intensive monitoring and dietary management) may have masked a potential benefit of exenatide ER (Gilor et al., 2025).

5.5. Liraglutide in Healthy Cats

Hall et al. (2015) evaluated liraglutide in healthy cats ($n=8$) at doses of 3 and 6 nmol/kg SC. Liraglutide significantly increased glucose-stimulated insulin secretion and suppressed glucagon dose-dependently, with pharmacokinetics similar to humans. However, the dose used in cats was 15 times higher than the typical human dose, and gastrointestinal side effects (nausea, vomiting) were noted (Hall et al., 2015).

5.6. Safety and Tolerability in Cats

Across all feline studies, the most common adverse effects were gastrointestinal: vomiting, decreased appetite, and diarrhea (Scuderi et al., 2018; Riederer et al., 2016; Gilor et al., 2025; Romero-Vélez et al., 2025). These effects were generally mild to moderate, dose-dependent, and often transient.

Key safety considerations:

- **Vomiting and anorexia:** Occurs in a substantial proportion of cats, particularly with extended-release formulations and higher doses.
- **Hypoglycemia:** Rare when GLP-1 RAs are used as monotherapy, but risk increases when combined with insulin or sulfonylureas (Scuderi et al., 2018).
- **Long-term safety:** Data in cats are limited; concerns about pancreatitis and thyroid C-cell hyperplasia (observed in rodent studies) require monitoring (Osiak-Wicha et al., 2024; Zhang et al., 2025).
- **Tolerability:** Gastrointestinal side effects are a significant barrier to adherence; slow dose escalation and careful monitoring are recommended (Romero-Vélez et al., 2025).

5.7. GLP-1 RAs in the Context of Feline Diabetes Management

Clinical evidence suggests GLP-1 RAs offer a promising adjunctive or alternative therapy for selected diabetic cats, particularly those with obesity and residual β -cell function. Key clinical implications include:

- **Reduced insulin requirements:** Exenatide significantly reduces daily insulin dose needed for glycemic control (Scuderi et al., 2018).
 - **Weight loss:** GLP-1 RAs promote weight loss, beneficial for overweight diabetic cats and may improve insulin sensitivity (Hoelmkjaer et al., 2016; Scuderi et al., 2018).
 - **Potential for remission:** Reported remission rates (25–40%) suggest GLP-1 RAs may facilitate β -cell recovery, though larger studies are needed (Riederer et al., 2016; Scuderi et al., 2018).
 - **Glycemic stability:** Reduced glycemic variability and stable HbA1c suggest improved quality of glycemic control (Krämer et al., 2020; Gilor et al., 2025).
- However, **significant evidence gaps remain:**
- Lack of large-scale, multicenter RCTs in diabetic cats
 - Limited long-term safety and efficacy data
 - Absence of head-to-head comparisons with other agents (e.g., SGLT2 inhibitors)
 - Lack of studies in cats with common comorbidities (e.g., chronic kidney disease, pancreatitis, acromegaly)

6. Cardiovascular Protection: From Mechanisms to Evidence

6.1. Cardiovascular Outcome Trials in Humans: The Foundation of Evidence

The cardiovascular benefits of GLP-1 RAs were firmly established through large cardiovascular outcome trials (CVOTs). These trials demonstrated not only cardiovascular safety but also significant reductions in major adverse cardiovascular events (MACE), including cardiovascular death, nonfatal myocardial infarction, and nonfatal stroke.

A summary of key CVOTs is presented in **Table 3**.

Table 3. Key Cardiovascular Outcome Trials of GLP-1 Receptor Agonists

Trial	Drug	Population (n)	Follow-up	MACE Reduction	Key Findings
LEADER (2016)	Liraglutide	9,340 high-risk T2DM	3.8 years	↓ 13% (HR 0.87)	(HR↓ CV death (22%); ↓ all-cause mortality (15%))
SUSTAIN-6 (2016)	Semaglutide SC	3,297 high-risk T2DM	2.1 years	↓ 26% (HR 0.74)	(HR↓ nonfatal stroke (39%); ↓ revascularization (35%))
REWIND (2019)	Dulaglutide	9,901 T2DM with CV risk	5.4 years	↓ 12% (HR 0.88)	(HR↓ Broad population; lower baseline CV risk)
Harmony Outcomes (2018)	Albiglutide	9,463 T2DM with CVD	1.6 years	↓ 22% (HR 0.78)	(HR↓ MI; consistent benefit across subgroups)
SELECT (2023)	Semaglutide 2.4 mg	17,604 overweight/obese without diabetes	3.3 years	↓ 20% (HR 0.80)	(HR↓ First trial in non-diabetic obesity with CVD)
AMPLITUDE-O (2021)	Efpeglenatide	4,076 T2DM with CVD/CKD	1.8 years	↓ 27% (HR 0.73)	(HR↓ HF hospitalization (39%))

Abbreviations: T2DM, type 2 diabetes mellitus; CVD, cardiovascular disease; CKD, chronic kidney disease; CV, cardiovascular; MACE, major adverse cardiovascular events; HR, hazard ratio; HF, heart failure; MI, myocardial infarction. Adapted from Marso et al. (2016), Sattar et al. (2021), Lincoff et al. (2023), Le et al. (2024), Ferhatbegovic et al. (2023).

Key findings from CVOTs:

The **LEADER trial** (Marso et al., 2016) demonstrated that liraglutide reduced MACE by 13% (HR 0.87, 95% CI: 0.78–0.97) in 9,340 patients with T2DM and high cardiovascular risk. Cardiovascular death was reduced by 22% and all-cause mortality by 15%, establishing liraglutide as a cardioprotective agent.

The **SUSTAIN-6 trial** (Marso et al., 2016) showed a 26% reduction in MACE with semaglutide (HR 0.74, 95% CI: 0.58–0.95), driven primarily by a 39% reduction in nonfatal stroke. These findings were reinforced by the **SELECT trial** (Lincoff et al., 2023), which demonstrated a 20% reduction in MACE (HR 0.80, 95% CI: 0.72–0.90) with semaglutide 2.4 mg in overweight or obese patients without diabetes but with established cardiovascular disease. This landmark study confirmed that cardiovascular benefits extend beyond glycemic control and are independent of diabetes status.

The **REWIND trial** (Gerstein et al., 2019) showed a 12% MACE reduction with dulaglutide (HR 0.88, 95% CI: 0.79–0.99) in a broader population with lower baseline CV risk. The **Harmony Outcomes trial** (Hernandez et al., 2018) demonstrated a 22% MACE reduction with albiglutide (HR 0.78, 95% CI: 0.68–0.90). Meta-analyses pooling data from these CVOTs confirmed that GLP-1 RAs reduce MACE by approximately 14% and all-cause mortality by 12% (Sattar et al., 2021; Giugliano et al., 2021).

In the SELECT trial, weight loss continued over 65 weeks and was sustained for up to 4 years. At 208 weeks, semaglutide was associated with mean weight reduction of 10.2% compared to 1.5% with placebo, and waist circumference reduction of 7.7 cm versus 1.3 cm (Ryan et al., 2024). Importantly, cardiovascular benefits were independent of baseline adiposity and weight loss magnitude, with only 33% of the benefit mediated through waist circumference reduction (Deanfield et al., 2025).

6.2. Mechanisms of Cardiovascular Protection

The cardiovascular benefits of GLP-1 RAs are mediated through multiple interconnected mechanisms, many independent of glycemic control and weight loss (Rroji et al., 2025; Zhang et al., 2025; Le et al., 2024).

6.2.1. Direct Myocardial Effects

GLP-1 receptors are expressed in cardiomyocytes, and GLP-1 RAs exert direct effects on the myocardium:

- **Improved myocardial glucose uptake:** GLP-1 enhances glucose uptake in cardiomyocytes, providing a more efficient energy substrate for the failing heart (Nikolaidis et al., 2004, 2005; Xiong et al., 2023).
- **Reduced ischemia-reperfusion injury:** GLP-1 RAs activate cardioprotective signaling pathways (PI3K/Akt, ERK1/2, AMPK) and reduce infarct size in experimental models (Zhang et al., 2025; Saraiva & Sposito, 2014).
- **Antiapoptotic effects:** GLP-1 RAs inhibit cardiomyocyte apoptosis through cAMP/PKA/CREB signaling and upregulation of Bcl-2 (Xiong et al., 2023; Le et al., 2024).
- **Improved mitochondrial function:** GLP-1 RAs reduce mitochondrial oxidative stress, preserve mitochondrial integrity, and enhance energy production in cardiomyocytes (Zhang et al., 2025).

6.2.2. Anti-inflammatory Effects

GLP-1 RAs exert potent anti-inflammatory effects through multiple pathways (Lee & Jun, 2016; Sourris et al., 2024). In endothelial cells, liraglutide inhibits TNF- α -induced expression of VCAM-1, ICAM-1, and E-selectin through CAMKK β and AMPK-dependent mechanisms (Krasner et al., 2014). GLP-1 RAs reduce pro-inflammatory cytokines (TNF- α , IL-6, IL-1 β) and suppress NLRP3 inflammasome activation in macrophages and endothelial cells (Rroji et al., 2025; Zhang et al., 2025). In diabetic patients, liraglutide increased SIRT6 expression and reduced NF- κ B, TNF- α , and MMP-9 levels in atherosclerotic plaques (Balestrieri et al., 2015; Lee & Jun, 2016).

In mouse models of atherosclerosis, liraglutide and semaglutide significantly attenuated plaque lesion development. Semaglutide reduced aortic expression of inflammatory genes including IL-6, CCL2, VCAM-1, and MMP-3 (Rakipovski et al., 2018). In an acute LPS inflammation model, semaglutide reduced plasma TNF- α , IFN- γ , and osteopontin levels (Rakipovski et al., 2018). Exendin-4 decreased monocyte adhesion to endothelial cells and reduced atherosclerotic lesion size in ApoE^{-/-} mice (Arakawa et al., 2010; Lee & Jun, 2016).

6.2.3. Reduction of Oxidative Stress

GLP-1 RAs activate AMPK and Nrf2 pathways, enhancing endogenous antioxidant defenses and reducing reactive oxygen species (ROS) in cardiomyocytes and endothelial cells (Xiong et al., 2023; Le et al., 2024; Winiarska et al., 2021). Liraglutide reduced NADPH oxidase activity and superoxide generation in diabetic rat kidneys (Hendarto et al., 2012). Exendin-4 decreased 8-hydroxydeoxyguanosine and NOX4 expression in renal tissue (Kodera et al., 2011; Sourris et al., 2024).

6.2.4. Anti-atherosclerotic Effects

In animal models, GLP-1 RAs reduce monocyte adhesion, macrophage infiltration, and foam cell formation, while increasing plaque stability through reduced MMP activity and increased collagen deposition (Rakipovski et al., 2018; Rroji et al., 2025). Liraglutide and semaglutide reduced atherosclerotic plaque area in both ApoE^{-/-} and LDLr^{-/-} mice, with effects partially independent of weight and cholesterol lowering (Rakipovski et al., 2018). Exendin-4 inhibited monocyte adhesion to endothelial cells in C57BL/6 and ApoE^{-/-} mice (Arakawa et al., 2010).

6.2.5. Vascular Effects

GLP-1 RAs improve vascular function through multiple pathways:

- **Endothelial function:** GLP-1 increases nitric oxide (NO) bioavailability through eNOS phosphorylation and AMPK activation (Xiong et al., 2023; Rroji et al., 2025).
- **Blood pressure reduction:** GLP-1 RAs reduce systolic blood pressure by 1–5 mmHg through vasodilation and natriuresis (del Olmo-Garcia & Merino-Torres, 2018; Ferhatbegovic et al., 2023).
- **Improved myocardial energetics:** GLP-1 increases myocardial glucose uptake and shifts substrate utilization toward glucose, improving metabolic efficiency (Nikolaidis et al., 2004, 2005; Zhang et al., 2025).

6.3. Direct Evidence from Animal Models

Preclinical studies in animal models have provided direct evidence of cardiovascular effects of GLP-1 RAs and their metabolites.

6.3.1. Studies in Dogs: The Nikolaidis Experiments

Two landmark studies by Nikolaidis and colleagues (2004, 2005) investigated GLP-1 effects in conscious dogs with pacing-induced dilated cardiomyopathy (DCM). These studies are particularly relevant to veterinary medicine as they were conducted in a large animal model that closely mimics naturally occurring heart failure in dogs.

Study 1 (Nikolaidis et al., 2004 - Circulation):

Sixteen dogs with advanced DCM received a 48-hour continuous infusion of recombinant GLP-1 (1.5 pmol/kg/min). Results were striking:

- **LV contractility (LV dp/dt):** $\uparrow$ 98% ($p < 0.02$)
- **Stroke volume:** $\uparrow$ 102% ($p < 0.02$)
- **Cardiac output:** $\uparrow$ 57% ($p < 0.02$)
- **LV end-diastolic pressure:** $\downarrow$ 11 mmHg ($p < 0.02$)

- **Heart rate:** ↓ 34 beats/min ($p < 0.02$)
- **Systemic vascular resistance:** ↓ 1122 dyne·s·cm⁻⁵ ($p < 0.02$)
- **Myocardial glucose uptake:** ↑ from 5.4 to 7.9 μmol/min ($p < 0.05$)

These improvements occurred without significant increases in plasma insulin, indicating insulinomimetic effects. GLP-1 also reduced plasma norepinephrine and glucagon levels (Nikolaidis et al., 2004).

Study 2 (Nikolaidis et al., 2005 - AJP):

This study compared GLP-1 (7-36) with its metabolite GLP-1 (9-36) amide, previously considered inactive. Findings were paradigm-shifting:

- **Both peptides** produced virtually identical hemodynamic improvements.
- **GLP-1 (9-36) amide** increased myocardial glucose uptake without increasing plasma insulin.
- The metabolite's effects were **insulinomimetic**, independent of the classical GLP-1 receptor.

6.3.2. Mechanistic Insights from Rodent Models

Additional mechanistic insights from rodent models (Rakipovski et al., 2018; Rroji et al., 2025; Zhang et al., 2025):

- **Atherosclerosis models:** In ApoE^{-/-} mice, liraglutide and semaglutide reduced plaque area, macrophage infiltration, and inflammation. Semaglutide decreased aortic expression of inflammatory genes including IL-6, CCL2, VCAM-1, and MMP-3 (Rakipovski et al., 2018).
- **Ischemia-reperfusion models:** GLP-1 RAs reduced infarct size and improved functional recovery in rats (Zhang et al., 2025; Saraiva & Sposito, 2014).
- **Diabetic cardiomyopathy models:** GLP-1 RAs reduced cardiac fibrosis, oxidative stress, and apoptosis (Zhang et al., 2025; Rroji et al., 2025).

6.4. Translational Relevance to Veterinary Cardiology

The cardiovascular effects of GLP-1 RAs observed in human trials and experimental animal models have significant translational relevance to veterinary medicine:

1. **Dilated cardiomyopathy in dogs:** GLP-1 may offer a novel metabolic approach to managing DCM, a common and often fatal condition in certain dog breeds. The profound hemodynamic improvements in the canine DCM model (Nikolaidis et al., 2004, 2005) suggest therapeutic potential warranting investigation in clinical veterinary patients.
2. **Myxomatous mitral valve disease (MMVD):** Anti-inflammatory and plaque-stabilizing effects of GLP-1 RAs may be relevant to MMVD management, the most common acquired heart disease in dogs. Chronic inflammation and oxidative stress contribute to valvular degeneration, and GLP-1 RAs may offer a novel approach to modulating these processes (Elliott & Oyama, 2025).
3. **Hypertrophic cardiomyopathy (HCM) in cats:** Anti-inflammatory, antifibrotic, and metabolic effects of GLP-1 RAs may have therapeutic potential in feline HCM. Studies in human HFpEF patients (sharing pathophysiological features with feline HCM) showed improvements in symptoms, exercise capacity, and weight loss with semaglutide (Kosiborod et al., 2023; Zhang et al., 2025).
4. **Heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF):** The STEP-HFpEF trial demonstrated semaglutide improved symptoms, physical function, and weight loss in patients with HFpEF and obesity (Kosiborod et al., 2023). This has direct translational relevance to feline HCM (Packer et al., 2025).

5. **Safety and tolerability:** The excellent cardiovascular safety profile of GLP-1 RAs established in human trials supports their investigation in veterinary cardiac patients (Sattar et al., 2021; Ferhatbegovic et al., 2023).

6.5. Knowledge Gaps and Research Priorities in Veterinary Cardiology

Despite encouraging findings, significant knowledge gaps remain regarding cardiovascular effects of GLP-1 RAs in companion animals:

- **Lack of clinical trials in veterinary cardiac patients:** No studies have evaluated GLP-1 RAs in dogs or cats with naturally occurring heart disease.
- **Limited dose optimization data:** Optimal dosing strategies for cardiovascular benefits in dogs and cats are unknown.
- **Lack of long-term safety data:** Long-term safety in veterinary cardiac patients has not been established.
- **Species-specific differences:** Differences in GLP-1 receptor distribution, drug metabolism, and disease pathophysiology between humans, dogs, and cats require careful evaluation.

Research priorities should include:

1. Pilot studies in dogs with DCM and MMVD to evaluate hemodynamic effects
2. Pilot studies in cats with HCM to evaluate effects on diastolic function and cardiac biomarkers
3. Pharmacokinetic and pharmacodynamic studies to determine optimal dosing
4. Long-term safety studies in veterinary cardiac patients
5. Investigation of GLP-1 RAs as adjunctive therapy to standard heart failure medications in dogs and cats

7. Comparison with Other Antidiabetic Agents in Veterinary Medicine

7.1. Overview

Beyond GLP-1 receptor agonists, other non-insulin antidiabetic drugs (NIADs) have been evaluated in cats, with sodium-glucose cotransporter-2 (SGLT2) inhibitors emerging as the most clinically relevant alternative. Traditional agents such as sulfonylureas (glipizide), biguanides (metformin), and alpha-glucosidase inhibitors (acarbose) have shown limited efficacy and significant limitations (Romero-Vélez et al., 2025; Vieira et al., 2025).

A comparison of GLP-1 RAs and SGLT2 inhibitors relevant to veterinary medicine is summarized in **Table 4**.

Table 4. Comparison of GLP-1 Receptor Agonists and SGLT2 Inhibitors in Veterinary Medicine

Feature	GLP-1 Receptor Agonists	SGLT2 Inhibitors
Mechanism	↑ Insulin secretion (glucose-dependent); ↓ glucagon; ↓ appetite	Renal glucose reabsorption; ↓ glucose excretion
Route	Subcutaneous injection (daily to monthly)	Oral (once daily)
Glycemic control	Moderate to high (HbA1c ↓ 1–1.5%)	Moderate (HbA1c ↓ 0.5–1.0%)
Weight effect	Significant weight loss (2–5 kg in cats)	Mild weight loss

Main effect	adverse GI signs (vomiting, anorexia)	Euglycemic DKA (eDKA)
Cardiovascular effects	↓ MACE, ↓ CV death, ↓ stroke	↓ HF hospitalization, ↓ CV death
Renal effects	↓ albuminuria, renoprotective	↓ hyperfiltration, renoprotective
Evidence in cats	Moderate (RCTs available)	Strong (large trials, FDA-approved)
Evidence in dogs	Emerging (clinical studies available)	Emerging (small clinical trials)
FDA approval in cats	Not approved	Bexagliflozin (Bexacat®) – Dec 2022; Velagliflozin (Senvelgo®) – Jul 2023
Veterinary availability	Off-label use only	Approved oral formulations

Abbreviations: GI, gastrointestinal; DKA, diabetic ketoacidosis; MACE, major adverse cardiovascular events; CV, cardiovascular; HF, heart failure; RCT, randomized controlled trial; FDA, Food and Drug Administration. Adapted from Vieira et al. (2025), Romero-Vélez et al. (2025), Rroji et al. (2025), Le et al. (2024).

7.2. SGLT2 Inhibitors in Cats

SGLT2 inhibitors have revolutionized feline diabetes management by providing an effective oral alternative to insulin. Two agents are currently FDA-approved:

- **Bexagliflozin (Bexacat®):** Approved December 2022
- **Velagliflozin (Senvelgo®):** Approved July 2023

Both are administered orally once daily and have demonstrated high efficacy in clinical trials (Vieira et al., 2025; Romero-Vélez et al., 2025).

7.2.1. Efficacy and Safety

Velagliflozin was evaluated in two large trials:

- **SENSATION study (Behrend et al., 2024):** 252 cats; 81% achieved glycemic control at day 180; 88.6% showed owner-reported improvement in polyuria/polydipsia.
- **Niessen et al. (2024):** 127 cats; demonstrated non-inferiority to insulin; 54% treatment success vs. 42% with insulin at day 45.

Bexagliflozin was assessed in a large field study by Hadd et al. (2023): 84 newly diagnosed diabetic cats; 84% treatment success at day 56.

Adverse effects: The most significant safety concern with SGLT2 inhibitors is **euglycemic diabetic ketoacidosis (eDKA)**, reported in approximately 7% of cats (95% CI: 4.5–10.5%), with most cases occurring within the first 14 days of treatment (Behrend et al., 2024; Niessen et al., 2024; Hadd et al., 2023). Other adverse effects include diarrhea, vomiting, and anorexia (Vieira et al., 2025).

7.2.2. Cardiovascular and Renal Effects in Humans

In humans, SGLT2 inhibitors provide significant cardiovascular and renal protection, including:

- Reduced heart failure hospitalization (~30%)
- Reduced progression of chronic kidney disease
- Reduced cardiovascular death

These effects are observed in both diabetic and non-diabetic patients (Vieira et al., 2025; Elliott & Oyama, 2025). Whether these benefits translate to veterinary patients with cardiac and kidney diseases remains an open question, though the mechanistic rationale is compelling (Elliott & Oyama, 2025).

7.3. SGLT2 Inhibitors in Dogs

Clinical data in dogs are limited but emerging. A study by An (2024) evaluated the SGLT2 inhibitor DWP16001 (enavogliflozin) as add-on therapy to insulin in 19 diabetic dogs. Key findings included:

- **Significant reduction** in insulin dose requirements
- **Reduced fructosamine** and fasting glucose levels
- **Weight loss** observed in both groups
- **No serious adverse effects** (e.g., no DKA, hypoglycemia, or dehydration)

The study concluded that DWP16001 was safe and may be effective as an adjunct to insulin therapy in diabetic dogs (An, 2024). However, larger studies are needed to confirm these findings.

7.4. Comparative Efficacy and Safety in Cats

A systematic review by Romero-Vélez et al. (2025) compared GLP-1 RAs and SGLT2 inhibitors in cats:

Parameter	GLP-1 RAs	SGLT2 Inhibitors
Evidence quality	Moderate (some RCTs)	High (large RCTs)
Primary efficacy	Modest (remission 25–40%)	High (84–88% success)
Main safety concern	GI side effects	eDKA
Monitoring	Insulin dose adjustment	Ketonuria monitoring
Owner burden	Injections (daily-weekly)	Oral (daily)
Cost	High (off-label)	Moderate (approved)

7.5. Traditional Agents: Limited Role

Glipizide (sulfonylurea): Evaluated in two uncontrolled trials (Nelson et al., 1993; Feldman et al., 1997), glipizide showed limited efficacy (25–26% response) and significant adverse effects, including vomiting, hypoglycemia, and hepatotoxicity. Importantly, experimental studies demonstrated that glipizide accelerates islet amyloidosis, a key pathological feature of feline diabetes (Hoenig et al., 2000; Romero-Vélez et al., 2025).

Metformin (biguanide): Evaluated in a small trial (Nelson et al., 2004), metformin showed low efficacy (20% response) and poor tolerability (gastrointestinal signs) (Romero-Vélez et al., 2025).

Acarbose (alpha-glucosidase inhibitor): Evaluated in a non-randomized trial (Mazzaferro et al., 2003), acarbose showed minimal clinical effect, with benefits likely attributable to diet rather than the drug (Romero-Vélez et al., 2025).

7.6. Clinical Implications

The choice between GLP-1 RAs and SGLT2 inhibitors in feline diabetes depends on patient characteristics, owner preferences, and clinical goals:

When to consider GLP-1 RAs:

- Overweight/obese cats where weight loss is a primary goal
- Cats with residual β -cell function where remission is achievable
- Cats where SGLT2 inhibitors are contraindicated (e.g., history of eDKA)

When to consider SGLT2 inhibitors:

- Cats requiring oral therapy (owner preference)
- Newly diagnosed diabetic cats with no history of ketoacidosis
- Cats where weight loss is not the primary goal

Combination therapy: While both GLP-1 RAs and SGLT2 inhibitors are recommended in human guidelines for patients with diabetes and cardiovascular disease (Rroji et al., 2025),

combination therapy in cats has not been studied. Their complementary mechanisms suggest potential additive benefits, but safety must be carefully evaluated.

8. Challenges and Future Perspectives

8.1. Current Challenges

Limited clinical evidence in veterinary species: Most studies in cats involve small sample sizes and lack long-term follow-up. In dogs, clinical data remain limited despite recent studies. The study by Oda et al. (2013) demonstrated liraglutide's efficacy in diabetic dogs, but larger trials are needed. Scuderi et al. (2018) and Riederer et al. (2016) showed promising results in cats, but sample sizes were small. Large-scale randomized controlled trials in companion animals are urgently needed (Romero-Vélez et al., 2025; An, 2024; Model, 2024).

Species-specific differences: Significant differences exist in GLP-1 physiology between humans, dogs, and cats. Cats lack the sweet-taste receptor T1R2/T1R3, which may affect glucose sensing (Gilor et al., 2016). Amino acids are more potent stimuli for GLP-1 secretion in cats than carbohydrates (Gilor et al., 2011; Model, 2024). Dogs show heightened sensitivity to liraglutide with significant glucose-lowering effects (Oda et al., 2013; Dik et al., 2025). These differences complicate direct extrapolation of human data to veterinary patients (Kim & Yun, 2025).

Gastrointestinal side effects: Nausea, vomiting, and anorexia are common in cats, particularly with extended-release formulations and higher doses (Riederer et al., 2016; Scuderi et al., 2018; Gilor et al., 2025; Hoelmkjaer et al., 2016). In the study by Riederer et al. (2016), 60% of cats experienced decreased appetite and 53% had vomiting. These effects can limit treatment adherence and require careful dose titration (Romero-Vélez et al., 2025).

Off-label use and cost: GLP-1 RAs are not approved for veterinary use, necessitating off-label prescribing. Costs are high, and availability is limited (Vieira et al., 2025; Romero-Vélez et al., 2025). The development of veterinary-specific formulations like OKV-119, an implantable exenatide delivery system, shows promise but requires further validation (Klotsman et al., 2021). Oral delivery formulations like MEDI7219 have demonstrated ~6% bioavailability in dogs (Pechenov et al., 2021), offering potential for future veterinary applications (New et al., 2024).

Safety concerns: While generally well-tolerated, concerns remain about pancreatitis, thyroid C-cell hyperplasia (based on rodent studies), and potential long-term effects (Osiak-Wicha et al., 2024; Zhang et al., 2025). In cats, long-term safety data are limited (Romero-Vélez et al., 2025). The OKV-119 implant system offers the advantage of removal if adverse effects occur (Klotsman et al., 2021).

8.2. Future Directions

Oral formulations: The development of oral GLP-1 RAs (e.g., oral semaglutide) represents a significant advance in human medicine (New et al., 2024; Kim & Yun, 2025). Similar formulations could greatly improve treatment adherence in veterinary patients by eliminating the need for injections (Zhao et al., 2020). Recent advances in oral peptide delivery include permeation enhancers, nanoparticles, and ingestible devices (Tran & ElSayed, 2022; Kim & Kim, 2025).

Long-acting formulations: Extended-release formulations already exist for cats (monthly exenatide ER; Gilor et al., 2025). Further development of ultra-long-acting formulations could reduce dosing frequency and improve owner compliance (Schneider et al., 2020; Klotsman et al., 2021). The OKV-119 system can deliver exenatide for up to 6 months (Klotsman et al., 2021).

Combination therapy: In human medicine, GLP-1 RAs and SGLT2 inhibitors are increasingly used together, with additive cardiovascular and renal benefits (Rroji et al., 2025; Vieira et al., 2025). This combination deserves investigation in diabetic cats and dogs, particularly those with concurrent cardiac or renal disease (Elliott & Oyama, 2025). Winiarska et al. (2021) highlighted the synergistic anti-inflammatory and antioxidant effects of both drug classes in diabetic kidney disease.

Cardiovascular studies in veterinary patients: Given the compelling evidence from canine experimental models (Nikolaidis et al., 2004, 2005) and human trials (Marso et al., 2016; Lincoff et al., 2023), studies evaluating GLP-1 RAs in dogs and cats with naturally occurring heart disease (DCM, MMVD, HCM) are a high priority. The SELECT trial demonstrated that semaglutide reduces MACE by 20% in patients without diabetes (Lincoff et al., 2023; Ryan et al., 2024), with effects independent of weight loss (Deanfield et al., 2025). Sourris et al. (2024) identified that GLP-1R signaling modifies DKD through dampening RAGE-induced inflammation, providing mechanistic rationale for renal protection.

Renal protection: Evidence from human trials suggests GLP-1 RAs have renoprotective effects (Sattar et al., 2021; Perkovic et al., 2024). This is particularly relevant for cats with concurrent diabetes and chronic kidney disease, a common comorbidity (Vieira et al., 2025; Garcia-Carro et al., 2021; Winiarska et al., 2021). Sourris et al. (2024) demonstrated that liraglutide reduces kidney RAGE expression and improves kidney injury independent of glucose lowering.

Anti-inflammatory mechanisms: GLP-1 RAs exert potent anti-inflammatory effects through multiple pathways (Lee & Jun, 2016). Rakipovski et al. (2018) showed that liraglutide and semaglutide reduce atherosclerosis through inflammatory pathways. Sourris et al. (2024) demonstrated that GLP-1R agonism promotes M2-like macrophage polarization and suppresses inflammasome activation. These mechanisms may translate to veterinary applications.

One Health approach: As emphasized by Lewitt (2019) and Kim & Yun (2025), collaboration between human and veterinary medicine is essential. Companion animals with naturally occurring diabetes provide valuable models for human disease, while advances in human therapeutics can be translated to improve veterinary care (Chandler et al., 2017). The shared pathophysiology between human and feline diabetes makes cats particularly valuable for studying GLP-1 RA effects (Model, 2024; Lewitt, 2019).

9. Conclusion

GLP-1 receptor agonists represent a promising therapeutic frontier for managing diabetes mellitus in cats and dogs, extending beyond glycemic control to offer meaningful cardiovascular and metabolic benefits. Evidence from feline clinical trials supports their role in reducing insulin requirements, promoting weight loss, and facilitating diabetic remission, with an acceptable safety profile dominated by gastrointestinal side effects. In dogs, experimental and clinical studies have demonstrated that liraglutide improves glycemic control in type 1 diabetes and induces significant weight loss in obese canines, while experimental models of dilated cardiomyopathy have shown impressive hemodynamic improvements driven by enhanced myocardial glucose uptake through insulinomimetic mechanisms independent of the classical GLP-1 receptor. Human cardiovascular outcome trials have firmly established the cardioprotective effects of GLP-1 RAs, including significant reductions in MACE, with effects partially independent of weight loss. While direct evidence in veterinary patients remains limited, the mechanistic rationale is compelling, and significant gaps persist regarding long-

term safety, optimal dosing, and efficacy in animals with common comorbidities such as chronic kidney disease and heart failure. The recent approval of oral SGLT2 inhibitors for feline diabetes has expanded therapeutic options, but GLP-1 RAs offer distinct advantages in obese cats and those with residual β -cell function where remission is a realistic goal. Future research priorities should include large-scale randomized controlled trials in veterinary patients, investigation of combination therapy with SGLT2 inhibitors, and evaluation of cardiovascular outcomes in dogs and cats with naturally occurring heart disease. A collaborative One Health approach, integrating insights from human and veterinary medicine, will be essential to accelerate the translation of these promising therapies into clinical practice, ultimately improving the quality of life and longevity of companion animals with diabetes and associated cardiovascular conditions.

References

1. Kim, I., & Yun, J. H. (2025). Comparative pharmacological and pharmaceutical perspectives on antidiabetic therapies in humans, dogs, and cats. *Pharmaceutics*, 17(9), 1098.
2. Lewitt, M. S. (2019). Feline obesity and diabetes: a One Health perspective. *CABI Reviews*, (2019), 1-10.
3. Model, J. F. A. (2024). Influência do peptídeo semelhante ao glucagon 1 (GLP-1) em diferentes espécies: ações fisiológicas e farmacológicas em cães e gatos e efeitos na regulação do metabolismo intermediário em ratas wistar ovariectomizadas.
4. Vieira, A. B., Cavanaugh, S. M., Ciambarella, B. T., & Machado, M. V. (2025). Sodium-glucose co-transporter 2 inhibitors: A pleiotropic drug in humans with promising results in cats. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1480977.
5. Osiak-Wicha, C., Kras, K., Tomaszewska, E., Muszyński, S., & Arciszewski, M. B. (2024). Examining the potential applicability of orexigenic and anorexigenic peptides in veterinary medicine for the management of obesity in companion animals. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(7), 6725-6745.
6. Gilor, C., Fleeman, L. M., Hulsebosch, S. E., Niessen, S. J., Bjørnvad, C. R., Pires, J., ... & Cook, A. K. (2025). Assessment of exenatide extended-release for maintenance of diabetic remission in cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 39(2), jvim70069.
7. Müller, T. D., Finan, B., Bloom, S. R., D'Alessio, D., Drucker, D. J., Flatt, P. R., ... & Habener, J. F. (2019). Glucagon-like Peptide 1 (GLP-1) Mol. Metab. 2019; 30: 72–130. 10.1016. *J. MOLMET*, 10.
8. Drucker, D. J. (2018). Mechanisms of action and therapeutic application of glucagon-like peptide-1. *Cell metabolism*, 27(4), 740-756.
9. Drucker, D. J. (2016). The cardiovascular biology of glucagon-like peptide-1. *Cell metabolism*, 24(1), 15-30.
10. Zomer, H. D., & Cooke, P. S. (2024). Advances in drug treatments for companion animal obesity. *Biology*, 13(5), 335.
11. Ferhatbegović, L., Mršić, D., & Macić-Džanković, A. (2023). The benefits of GLP1 receptors in cardiovascular diseases. *Frontiers in clinical diabetes and healthcare*, 4, 1293926.
12. Lincoff, A. M., Brown-Frandsen, K., Colhoun, H. M., Deanfield, J., Emerson, S. S., Esbjerg, S., ... & Ryan, D. H. (2023). Semaglutide and cardiovascular outcomes in obesity without diabetes. *New England Journal of Medicine*, 389(24), 2221-2232.
13. Sattar, N., Lee, M. M., Kristensen, S. L., Branch, K. R., Del Prato, S., Khurmi, N. S., ... & Gerstein, H. C. (2021). Cardiovascular, mortality, and kidney outcomes with GLP-1 receptor

- agonists in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomised trials. *The lancet Diabetes & endocrinology*, 9(10), 653-662.
14. Marso, S. P., Daniels, G. H., Brown-Frandsen, K., Kristensen, P., Mann, J. F., Nauck, M. A., ... & Buse, J. B. (2016). Liraglutide and cardiovascular outcomes in type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 375(4), 311-322.
 15. Marso, S. P., Bain, S. C., Consoli, A., Eliaschewitz, F. G., Jódar, E., Leiter, L. A., ... & Vilsbøll, T. (2016). Semaglutide and cardiovascular outcomes in patients with type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 375(19), 1834-1844.
 16. Le, R., Nguyen, M. T., Allahwala, M. A., Psaltis, J. P., Marathe, C. S., Marathe, J. A., & Psaltis, P. J. (2024). Cardiovascular protective properties of GLP-1 receptor agonists: more than just diabetic and weight loss drugs. *Journal of Clinical Medicine*, 13(16), 4674.
 17. Xiong, Q., Wang, J., Huang, K., Li, W., & Zhang, L. (2023). Potential role of GLP-1 based therapeutics in coronary artery disease. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 28(11), 315.
 18. Zhang, X., Cao, C., Zheng, F., Liu, C., & Tian, X. (2026). Therapeutic potential of GLP-1 receptor agonists in diabetes and cardiovascular disease: mechanisms and clinical implications. *Cardiovascular drugs and therapy*, 40(1), 287-301.
 19. Rroji, M., Spahia, N., Figurek, A., & Spasovski, G. (2025). Targeting diabetic atherosclerosis: the role of GLP-1 receptor agonists, SGLT2 inhibitors, and nonsteroidal mineralocorticoid receptor antagonists in vascular protection and disease modulation. *Biomedicines*, 13(3), 728.
 20. Rakipovski, G., Rolin, B., Nøhr, J., Klewe, I., Frederiksen, K. S., Augustin, R., ... & Knudsen, L. B. (2018). The GLP-1 analogs liraglutide and semaglutide reduce atherosclerosis in ApoE^{-/-} and LDLr^{-/-} mice by a mechanism that includes inflammatory pathways. *JACC: Basic to Translational Science*, 3(6), 844-857.
 21. Nikolaidis, L. A., Elahi, D., Hentosz, T., Doverspike, A., Huerbin, R., Zourelas, L., ... & Shannon, R. P. (2004). Recombinant glucagon-like peptide-1 increases myocardial glucose uptake and improves left ventricular performance in conscious dogs with pacing-induced dilated cardiomyopathy. *Circulation*, 110(8), 955-961.
 22. Nikolaidis, L. A., Elahi, D., Shen, Y. T., & Shannon, R. P. (2005). Active metabolite of GLP-1 mediates myocardial glucose uptake and improves left ventricular performance in conscious dogs with dilated cardiomyopathy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 289(6), H2401-H2408.
 23. Scuderi, M. A., Petito, M. R., Unniappan, S., Waldner, C., Mehain, S., McMillian, C. J., & Snead, E. C. (2018). Safety and efficacy assessment of a GLP-1 mimetic: insulin glargine combination for treatment of feline diabetes mellitus. *Domestic animal endocrinology*, 65, 80-89.
 24. Riederer, A., Zini, E., Salesov, E., Fracassi, F., Padrutt, I., Macha, K., ... & Reusch, C. E. (2016). Effect of the glucagon-like peptide-1 analogue exenatide extended release in cats with newly diagnosed diabetes mellitus. *Journal of veterinary internal medicine*, 30(1), 92-100.
 25. Hall, M. J., Adin, C. A., Borin-Crivellenti, S., Rudinsky, A. J., Rajala-Schultz, P., Lakritz, J., & Gilor, C. (2015). Pharmacokinetics and pharmacodynamics of the glucagon-like peptide-1 analog liraglutide in healthy cats. *Domestic Animal Endocrinology*, 51, 114-121.
 26. Hoelmkjaer, K. M., Wewer Albrechtsen, N. J., Holst, J. J., Cronin, A. M., Nielsen, D. H., Mandrup-Poulsen, T., & Bjornvad, C. R. (2016). A placebo-controlled study on the effects of the glucagon-like peptide-1 mimetic, exenatide, on insulin secretion, body composition and adipokines in obese, client-owned cats. *PloS one*, 11(5), e0154727.

27. Romero-Vélez, F., Rejas, J., & Ruiz de Gopegui, R. (2025). Efficacy and Safety of Non-Insulin Antidiabetic Drugs in Cats: A Systematic Review. *Animals*, 15(17), 2561.
28. Nauck, M. A., & Meier, J. J. (2019). Management of endocrine disease: are all GLP-1 agonists equal in the treatment of type 2 diabetes? *European journal of endocrinology*, 181(6), R211-R234.
29. Gilor, C., Graves, T. K., Gilor, S., Ridge, T. K., & Rick, M. (2011). The GLP-1 mimetic exenatide potentiates insulin secretion in healthy cats. *Domestic animal endocrinology*, 41(1), 42-49.
30. Gilor, C. S. J. M., Niessen, S. J. M., Furrow, E., & DiBartola, S. P. (2016). What's in a name? Classification of diabetes mellitus in veterinary medicine and why it matters. *Journal of veterinary internal medicine*, 30(4), 927-940.
31. Oda, H., Mori, A., Lee, P., Saeki, K., Ishioka, K., Arai, T., & Sako, T. (2013). Characterization of the use of liraglutide for glycemic control in healthy and Type 1 diabetes mellitus suffering dogs. *Research in veterinary science*, 95(2), 381-388.
32. Dik, B., Hatipoglu, D., Kahraman, O., Parlak, T. M., Inanc, Z. S., Celik, M., & Damar, S. (2025). Liraglutide as a novel therapeutic for overweight in canines: A clinical study. *The Veterinary Journal*, 313, 106376.
33. An, J. H., Choi, H. S., Choi, J. S., Lim, H. W., Huh, W., Oh, Y. I., ... & Youn, H. Y. (2024). Effect of the sodium-glucose cotransporter-2 inhibitor, DWP16001, as an add-on therapy to insulin for diabetic dogs: A pilot study. *Veterinary Medicine and Science*, 10(3), e1454.
34. Elliott, J., & Oyama, M. A. (2025). Sodium glucose transporter 2 inhibitors: Will these drugs benefit non-diabetic veterinary patients with cardiac and kidney diseases? *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 48, 1-18.
35. Behrend, E. N., Ward, C. R., Chukwu, V., Cook, A. K., Kroh, C., Lathan, P., ... & Voth, R. (2024). Velagliflozin, a once-daily, liquid, oral SGLT2 inhibitor, is effective as a stand-alone therapy for feline diabetes mellitus: the SENSATION study. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 262(10), 1343-1353.
36. Niessen, S. J., Kooistra, H. S., Forcada, Y., Bjørnvad, C. R., Albrecht, B., Roessner, F., ... & Kroh, C. (2024). Efficacy and safety of once daily oral administration of sodium-glucose cotransporter-2 inhibitor velagliflozin compared with twice daily insulin injection in diabetic cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 38(4), 2099-2119.
37. Hadd, M. J., Bienhoff, S. E., Little, S. E., Geller, S., Ogne-Stevenson, J., Dupree, T. J., & Scott-Moncrieff, J. C. (2023). Safety and effectiveness of the sodium-glucose cotransporter inhibitor bexagliflozin in cats newly diagnosed with diabetes mellitus. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37(3), 915-924.
38. Nelson, R. W., Feldman, E. C., Ford, S. L., & Roemer, O. P. (1993). Effect of an orally administered sulfonylurea, glipizide, for treatment of diabetes mellitus in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 203(6), 821-827.
39. Feldman, E. C., Nelson, R. W., & Feldman, M. S. (1997). Intensive 50-week evaluation of glipizide administration in 50 cats with previously untreated diabetes mellitus. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 210(6), 772-777.
40. Hoenig, M., Hall, G., Ferguson, D., Jordan, K., Henson, M., Johnson, K., & O'Brien, T. (2000). A feline model of experimentally induced islet amyloidosis. *The American journal of pathology*, 157(6), 2143-2150.

41. Nelson, R., Spann, D., Elliott, D., Brondos, A., & Vulliet, R. (2004). Evaluation of the oral antihyperglycemic drug metformin in normal and diabetic cats. *Journal of veterinary internal medicine*, 18(1), 18-24.
42. Mazzaferro, E. M., Greco, D. S., Turner, A. S., & Fettman, M. J. (2003). Treatment of feline diabetes mellitus using an α -glucosidase inhibitor and a low-carbohydrate diet. *Journal of feline Medicine and Surgery*, 5(3), 183-189.
43. Klotsman, M., Adin, C. A., Anderson, W. H., & Gilor, C. (2021). Safety, tolerability, and proof-of-concept study of OKV-119, a novel exenatide long-term drug delivery system, in healthy cats. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 661546.
44. Pechenov, S., Revell, J., Will, S., Naylor, J., Tyagi, P., Patel, C., ... & Subramony, J. A. (2021). Development of an orally delivered GLP-1 receptor agonist through peptide engineering and drug delivery to treat chronic disease. *Scientific Reports*, 11(1), 22521.
45. New, R. R. C., Bogus, M., Travers, G. N., Hahn, U., Vaiceliunaite, A., Burnet, M., ... & Wen, H. (2024). Glucagon-like peptide-1 receptor agonists for treatment of diabetes and obesity: advantage of oral delivery. *Frontiers in Drug Delivery*, 4, 1456654.
46. Zhao, R., Lu, Z., Yang, J., Zhang, L., Li, Y., & Zhang, X. (2020). Drug delivery system in the treatment of diabetes mellitus. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 880.
47. Tran, H., & ElSayed, M. E. (2022). Progress and limitations of oral peptide delivery as a potentially transformative therapy. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 19(2), 163-178.
48. Kim, D. H., & Kim, J. E. (2025). Recent advances and trends in oral absorption enhancements of GLP-1 receptor agonist formulations. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 1-17.
49. Ryan, D. H., Lingvay, I., Deanfield, J., Kahn, S. E., Barros, E., Burguera, B., ... & Kushner, R. F. (2024). Long-term weight loss effects of semaglutide in obesity without diabetes in the SELECT trial. *Nature medicine*, 30(7), 2049-2057.
50. Deanfield, J., Lincoff, A. M., Kahn, S. E., Emerson, S. S., Lingvay, I., Scirica, B. M., ... & Ryan, D. H. (2025). Semaglutide and cardiovascular outcomes by baseline and changes in adiposity measurements: a prespecified analysis of the SELECT trial. *The Lancet*, 406(10516), 2257-2268.
51. Giugliano, D., Scappaticcio, L., Longo, M., Caruso, P., Maiorino, M. I., Bellastella, G., ... & Esposito, K. (2021). GLP-1 receptor agonists and cardiorenal outcomes in type 2 diabetes: an updated meta-analysis of eight CVOTs. *Cardiovascular Diabetology*, 20(1), 189.
52. Gerstein, H. C., Colhoun, H. M., Dagenais, G. R., Diaz, R., Lakshmanan, M., Pais, P., ... & Zucchiatti, N. (2019). Dulaglutide and cardiovascular outcomes in type 2 diabetes (REWIND): a double-blind, randomised placebo-controlled trial. *The Lancet*, 394(10193), 121-130.
53. Hernandez, A. F., Green, J. B., Janmohamed, S., D'Agostino, R. B., Granger, C. B., Jones, N. P., ... & Damyanova, V. (2018). Albiglutide and cardiovascular outcomes in patients with type 2 diabetes and cardiovascular disease (Harmony Outcomes): a double-blind, randomised placebo-controlled trial. *The Lancet*, 392(10157), 1519-1529.
54. Saraiva, F. K., & Sposito, A. C. (2014). Cardiovascular effects of glucagon-like peptide 1 (GLP-1) receptor agonists. *Cardiovascular diabetology*, 13(1), 142.
55. Ussher, J. R., & Drucker, D. J. (2014). Cardiovascular actions of incretin-based therapies. *Circulation research*, 114(11), 1788-1803.
56. del Olmo-Garcia, M. I., & Merino-Torres, J. F. (2018). GLP-1 receptor agonists and cardiovascular disease in patients with type 2 diabetes. *Journal of diabetes research*, 2018(1), 4020492.

57. Lee, Y. S., & Jun, H. S. (2016). Anti-inflammatory effects of GLP-1-based therapies beyond glucose control. *Mediators of inflammation*, 2016(1), 3094642.
58. Sourris, K. C., Ding, Y., Maxwell, S. S., Al-Sharea, A., Kantharidis, P., Mohan, M., ... & Coughlan, M. T. (2024). Glucagon-like peptide-1 receptor signaling modifies the extent of diabetic kidney disease through dampening the receptor for advanced glycation end products–induced inflammation. *Kidney International*, 105(1), 132-149.
59. Winiarska, A., Knysak, M., Nabrdalik, K., Gumprecht, J., & Stompor, T. (2021). Inflammation and oxidative stress in diabetic kidney disease: the targets for SGLT2 inhibitors and GLP-1 receptor agonists. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), 10822.
60. García-Carro, C., Vergara, A., Bermejo, S., Azancot, M. A., Sellarés, J., & Soler, M. J. (2021). A nephrologist perspective on obesity: from kidney injury to clinical management. *Frontiers in medicine*, 8, 655871.
61. Chandler, M., Cunningham, S., Lund, E. M., Khanna, C., Naramore, R., Patel, A., & Day, M. J. (2017). Obesity and associated comorbidities in people and companion animals: a one health perspective. *Journal of comparative pathology*, 156(4), 296-309.
62. Packer, M., Zile, M. R., Kramer, C. M., Baum, S. J., Litwin, S. E., Menon, V., ... & Borlaug, B. A. (2025). Tirzepatide for heart failure with preserved ejection fraction and obesity. *New England Journal of Medicine*, 392(5), 427-437.
63. Kosiborod, M. N., Abildstrøm, S. Z., Borlaug, B. A., Butler, J., ren Rasmussen, S., Davies, M., ... & Petrie, M. C. (2023). Semaglutide in patients with heart failure with preserved ejection fraction and obesity. *New England Journal of Medicine*, 389(12), 1069-1084.
64. Perkovic, V., Tuttle, K. R., Rossing, P., Mahaffey, K. W., Mann, J. F., Bakris, G., ... & Pratley, R. (2024). Effects of semaglutide on chronic kidney disease in patients with type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 391(2), 109-121.
65. Schneider, E. L., Reid, R., Parkes, D. G., Lutz, T. A., Ashley, G. W., & Santi, D. V. (2020). A once-monthly GLP-1 receptor agonist for treatment of diabetic cats. *Domestic animal endocrinology*, 70, 106373.
66. Krämer, A. L., Riederer, A., Fracassi, F., Boretti, F. S., Sieber-Ruckstuhl, N. S., Lutz, T. A., ... & Reusch, C. E. (2020). Glycemic variability in newly diagnosed diabetic cats treated with the glucagon-like peptide-1 analogue exenatide extended release. *Journal of veterinary internal medicine*, 34(6), 2287-2295.
67. Hendarto, H., Inoguchi, T., Maeda, Y., Ikeda, N., Zheng, J., Takei, R., ... & Takayanagi, R. (2012). GLP-1 analog liraglutide protects against oxidative stress and albuminuria in streptozotocin-induced diabetic rats via protein kinase A-mediated inhibition of renal NAD (P) H oxidases. *Metabolism*, 61(10), 1422-1434.
68. Kodera, R., Shikata, K., Kataoka, H. U., Takatsuka, T., Miyamoto, S., Sasaki, M., ... & Makino, H. (2011). Glucagon-like peptide-1 receptor agonist ameliorates renal injury through its anti-inflammatory action without lowering blood glucose level in a rat model of type 1 diabetes. *Diabetologia*, 54(4), 965-978.
69. Arakawa, M., Mita, T., Azuma, K., Ebato, C., Goto, H., Nomiyama, T., ... & Watada, H. (2010). Inhibition of monocyte adhesion to endothelial cells and attenuation of atherosclerotic lesion by a glucagon-like peptide-1 receptor agonist, exendin-4. *Diabetes*, 59(4), 1030-1037.
70. Pi-Sunyer, X., Astrup, A., Fujioka, K., Greenway, F., Halpern, A., Krempf, M., ... & Wilding, J. P. (2015). A randomized, controlled trial of 3.0 mg of liraglutide in weight management. *New England Journal of Medicine*, 373(1), 11-22.

71. Secher, A., Jelsing, J., Baquero, A. F., Hecksher-Sørensen, J., Cowley, M. A., Dalbøge, L. S., ... & Knudsen, L. B. (2014). The arcuate nucleus mediates GLP-1 receptor agonist liraglutide-dependent weight loss. *The Journal of clinical investigation*, 124(10), 4473-4488.
72. Krasner, N. M., Ido, Y., Ruderman, N. B., & Cacicedo, J. M. (2014). Glucagon-like peptide-1 (GLP-1) analog liraglutide inhibits endothelial cell inflammation through a calcium and AMPK dependent mechanism. *Plos one*, 9(5), e97554.
73. Balestrieri, M. L., Rizzo, M. R., Barbieri, M., Paolisso, P., D'Onofrio, N., Giovane, A., ... & Marfella, R. (2015). Sirtuin 6 expression and inflammatory activity in diabetic atherosclerotic plaques: effects of incretin treatment. *Diabetes*, 64(4), 1395-1406.

MONUMENTAL EVENTS AT THE SITE OF THE BAPTISM OF JESUS CHRIST THE HISTORICAL AND ARCHAEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF THE SITE OF THE BAPTISM OF JESUS CHRIST (AL-MAGHTAS) ON THE EAST BANK OF THE JORDAN RIVER

Prof Dr Mohammed Waheeb

Professor in Archaeology; Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology Heritage, & Tourism (QRFTH), The Hashemite University

Abstract

The archaeological discoveries yielded at the Site of the Baptism of Jesus Christ (*Al-Maghtas*) on the East Bank of the Jordan River constitute a cultural and human achievement of extraordinary dimensions at the local, regional, and global levels. The systematic field surveys and meticulous archaeological excavations—which I had the privilege of leading and directly supervising from 1996 through 2004—marked a pivotal turning point in the field of Biblical and Byzantine archaeology. Corroborated by advanced laboratory analyses and comparative studies of historical manuscripts, the empirical field results established the precise spatial concurrence of the monumental events that transpired at this eternal site. From this very location—the lowest point

This national and international endeavor was grounded in a rigorous integration of tangible physical antiquities with primary historical sources and the travelogues of early pilgrims. As scientific publications and specialized studies accelerated, these empirical truths materialized conclusively on the ground. The architectural remnants and artifactual assemblages remain visible to the naked eye as living testaments, imbued with an enduring aura of sanctity and blessing that has persisted through the centuries down to the present day.

With the advent of the Byzantine era, the resonance of these events echoed across the known world, prompting the Byzantine Empire to dedicate immense resources to immortalize this sacred domain. Swarms of pilgrims, travelers, historians, and clergy traversed continents, oceans, and rivers to reach this site, braving severe hardships and perils. While many achieved their quest to partake in the site's blessings, others perished en route, departing this world with their hearts set upon beholding this hallowed ground.

Major Discoveries and Principal Landmarks

The archaeological excavations culminated in the unearthing of numerous architectural complexes and structural features that represent a paramount qualitative addition to the world's cultural heritage. The most prominent of these discoveries are embodied in the following three key sites:

- **First: The Cave Church (The Cave of Prophet Yahya / John the Baptist):**

Situated on the western flank of Tell Mar Elias (Elijah's Hill), architectural and historical analyses of this unique cave revealed an exact correspondence with descriptions found in ancient manuscripts. The Byzantines consecrated this cave—which witnessed the residence and early ministry of John the Baptist—and transformed it into the sanctuary apse of a church constructed on the site. Consequently, this structure stands as the oldest known cave adapted as a church apse in history, serving as the architectural prototype from which the design of church apses evolved across the Byzantine world.

- **Second: The Architectural Complex of the Baptism Site of Jesus Christ:**

At the precise spot where Jesus Christ met John the Baptist for the sacred rite of baptism, the Byzantines erected a comprehensive architectural complex. This included churches of varying scales, notably the Memorial Church and the "Church of the Mantle"—established where Christ placed his garment prior to entering the water. Excavations also revealed a square stone pedestal upon which a marble column surmounted by a metallic cross was originally anchored, a feature documented by early pilgrims. At the central baptismal basin, a distinctive stone slab—distinguished by its refined stonework and precise dimensions—was laid to mark the exact position where the two Prophets stood, spanned by a finely crafted stone arch. This locus sits at the confluence of the Jordan River and the fresh spring originating from Wadi al-Kharrar, which historical accounts describe as being fed at the time by six distinct freshwater springs.

- **Third: The Sanctuary and Hermitage of Saint Mary of Egypt:**

Substantiating the historical narratives and hagiographical texts detailing her life of asceticism and devotion in Wadi al-Kharrar following her repentance, excavations uncovered two ancient rooms occupied by Saint Mary of Egypt—one utilized for lodging and the other dedicated to prayer and worship. The masonry foundations of these rooms remain preserved in situ near the East Bank of the Jordan River, serving as a tangible monument to the monastic and hermit tradition of this sacred valley.

Conclusion and Future Research Horizons

The three landmarks highlighted herein do not exhaust the site's universal heritage; rather, they represent a fully documented cross-section of a globally significant cultural and religious legacy. The surrounding precinct of the Baptism Site remains a treasure trove of rare, world-class antiquities that await further revelation before the international scientific and theological communities. This includes interconnected historical features along the East Bank of the Jordan River, such as the Mount of Temptation, the Mount of Transfiguration, and the Mount of Beatitudes (within their historical and geographical extensions). This paper presents these current empirical findings to the scholarly community, paving the way for forthcoming scientific studies and discoveries that will continue to illuminate this grand human legacy.

Keywords: Heritage, Byzantine, Archaeology, Christianity, Churches.

ALPHA-2 AGONISTS AS SOLE ANALGESICS IN DOGS AND CATS: WHEN CLINICAL REALITY MEETS PHARMACOLOGICAL MYTH

Sakineh Khanamani Falahatipour

Department of Comparative Biosciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Motahareh Soltani

Pistachio Safety Research Center, Rafsanjan University of Medical Sciences, Rafsanjan, Iran

Zahra Hallajian

Department of Pharmacology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Alpha-2 adrenergic receptor agonists, including medetomidine, dexmedetomidine, xylazine, and romifidine, are widely used in veterinary anesthesia for their potent sedative, analgesic, and muscle relaxant properties. Despite their established role in multimodal analgesic protocols, a persistent clinical question remains: can these drugs be used as sole analgesics to provide sufficient pain relief in dogs and cats? This mini-review critically evaluates the evidence for and against the use of alpha-2 agonists as primary analgesic agents, synthesizing data from experimental studies, clinical trials, surveys, and case reports published over the past three decades. The analgesic mechanism of alpha-2 agonists involves direct activation of alpha-2 adrenoceptors in the spinal dorsal horn and supraspinal centers, independent of descending inhibitory pathways. Clinical evidence demonstrates that medetomidine and dexmedetomidine provide effective analgesia as sole agents for minor, non-invasive procedures such as radiography, wound management, dental care, and abscess lancing, with success rates exceeding 90% in controlled trials. Comparative studies have shown that alpha-2 agonists may provide analgesia equivalent to or superior to opioids for certain types of pain. However, significant limitations exist, including a ceiling effect of analgesia that is insufficient for intensely painful surgical procedures, dose-dependent cardiovascular side effects such as bradycardia and reduced cardiac output, prolonged extubation and recovery times, and complete reversal of analgesia by atipamezole. Recent advances, including the development of peripheral alpha-2 antagonists like vatinoxan to mitigate cardiovascular effects and the growing adoption of opioid-free anesthesia protocols, offer promising future directions. This review concludes that alpha-2 agonists as sole analgesics represent a clinical reality in well-defined contexts—specifically, healthy patients undergoing minor procedures—but are not a universal solution. The judicious, evidence-based use of alpha-2 agonists, either as sole agents or as components of multimodal protocols, remains essential for optimizing pain management in small animal practice.

Keywords: Alpha-2 agonists, Analgesia, Dogs, Cats, Pain management

1. Introduction

The management of pain in small animal veterinary practice has evolved significantly over the past decades, with growing emphasis on effective, safe, and accessible analgesic strategies. Among the pharmacological agents available, alpha-2 adrenergic receptor agonists (alpha-2 agonists) have long been recognized for their potent sedative, analgesic, and muscle relaxant

properties (Cullen, 1996; Lemke, 2004). Drugs such as xylazine, medetomidine, dexmedetomidine, romifidine, and more recently tasipimidine, are widely used in veterinary anesthesia for premedication, sedation, and as adjuncts to general anesthesia (Greene, 1999; González Gómez, 2005; Kästner et al., 2024).

Despite their established role in multimodal analgesic protocols, a persistent clinical question remains: can alpha-2 agonists be used as sole analgesics to provide sufficient pain relief in dogs and cats, or is their analgesic effect merely an adjunct to opioids and other analgesics? This question is not merely academic; it has direct clinical implications, particularly in settings where opioid availability is limited, cost-prohibitive, or where opioid-related side effects such as respiratory depression, dysphoria, or ileus are of concern (Lemke, 2004; Pieper, 2016; ter Bruggen et al., 2019).

The historical context of this debate is important. Xylazine, introduced in 1962, was the first alpha-2 agonist used widely in veterinary practice, primarily for sedation and chemical restraint (Greene, 1999). It was not until the 1980s that the analgesic properties of these drugs were formally attributed to alpha-2 adrenoceptor stimulation (González Gómez, 2005). Medetomidine, a more selective and potent alpha-2 agonist, was introduced in the late 1980s and demonstrated reliable sedation and analgesia in dogs and cats (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996). Subsequent development of dexmedetomidine, the active enantiomer of medetomidine, further refined the clinical profile of this drug class (Granholt et al., 2006; Murrell & Hellebrekers, 2005).

The analgesic mechanism of alpha-2 agonists is well-characterized. These drugs act centrally by stimulating alpha-2 adrenoceptors in the locus coeruleus and spinal dorsal horn, leading to inhibition of nociceptive transmission and descending modulation of pain (Hämäläinen & Pertovaara, 1995; González Gómez, 2005; Flaherty, 2013). Unlike opioids, which primarily act on mu receptors, alpha-2 agonists produce analgesia without significant respiratory depression, although they do cause dose-dependent cardiovascular effects such as bradycardia and hypertension (Lemke, 2004; Murrell & Hellebrekers, 2005).

Despite these favorable pharmacodynamic properties, the use of alpha-2 agonists as sole analgesics remains controversial. Several studies have demonstrated that medetomidine and dexmedetomidine provide effective sedation and analgesia for minor procedures such as radiography, wound suturing, dental care, and abscess lancing, often without the need for additional analgesics (Granholt et al., 2006; Carvalho et al., 2019; Okur et al., 2024). However, other studies have highlighted the limitations of alpha-2 agonists, particularly their minimal analgesic effect in response to intense surgical stimuli, as well as their significant cardiovascular side effects (Ko et al., 2024; Joerger et al., 2023).

Furthermore, the growing interest in opioid-free anesthesia (OFA) has renewed attention on the potential role of alpha-2 agonists as primary analgesic agents. Recent studies have shown that protocols incorporating medetomidine or dexmedetomidine, often in combination with ketamine and loco-regional blocks, can provide adequate analgesia for procedures such as tibial plateau leveling osteotomy (TPLO) and dental surgery, with reduced or eliminated opioid requirements (Didier et al., 2024; Lee et al., 2026; Pascal et al., 2020).

This mini-review aims to critically evaluate the evidence for and against the use of alpha-2 agonists as sole analgesics in canine and feline anesthesia. By synthesizing data from experimental studies, clinical trials, and survey-based research, we seek to answer the question: Is the concept of alpha-2 agonists as sole analgesics a myth or a clinical reality?

2. Methods

This narrative review was conducted through a structured literature search of Web of Science, PubMed and Google Scholar (1989–2026), supplemented by manual screening of reference lists. Search terms included combinations of: "alpha-2 agonist," "medetomidine," "dexmedetomidine," "analgesia," "pain management," "dogs," and "cats."

Studies were included if they were peer-reviewed original research, clinical trials, or case reports evaluating the analgesic effects of alpha-2 agonists in dogs or cats. Excluded were non-target species studies, conference abstracts, duplicate publications, and articles lacking specific analgesic outcome data. Given the narrative design, formal quality assessment tools were not applied; however, studies were critically appraised for methodological rigor, with priority given to randomized controlled trials and those employing objective pain measures (e.g., nociceptive withdrawal reflex thresholds) over those relying solely on behavioral scores, due to the known confounding effect of deep sedation (Ko et al., 2024; Siegenthaler et al., 2020).

A total of 52 articles were synthesized thematically across mechanisms, clinical efficacy, adverse effects, drug comparisons, and future perspectives. Due to heterogeneity in study designs, dosages, and outcome measures, a quantitative meta-analysis was not feasible. Key findings are summarized in tabular format (Tables 1–4), with clinical decision-making guidance provided in Table 5.

3. Mechanisms of Analgesic Action

Understanding the analgesic mechanisms of alpha-2 agonists is fundamental to evaluating their potential as sole analgesic agents. Unlike opioids, which primarily act on mu-opioid receptors, alpha-2 agonists exert their antinociceptive effects through a distinct and well-characterized pathway involving alpha-2 adrenoceptors located in both the central and peripheral nervous systems (Lemke, 2004; González Gómez, 2005; Dart, 1999).

3.1. Central Mechanisms: Locus Coeruleus and Spinal Dorsal Horn

The primary site of analgesic action for alpha-2 agonists is the central nervous system, specifically the locus coeruleus (LC) in the pons and the dorsal horn of the spinal cord. The LC is the major noradrenergic nucleus in the brain and plays a crucial role in the descending modulation of pain. Alpha-2 agonists stimulate presynaptic alpha-2 autoreceptors on noradrenergic neurons in the LC, reducing the release of norepinephrine and decreasing the activity of noradrenergic projections to higher brain structures (González Gómez, 2005). This action contributes to both sedation and analgesia.

However, the most direct analgesic effect is mediated by the activation of alpha-2 heteroreceptors located on nociceptive neurons in the dorsal horn of the spinal cord (Hämäläinen & Pertovaara, 1995). Stimulation of these receptors inhibits the release of excitatory neurotransmitters, such as substance P and glutamate, from primary afferent C-fibers, thereby reducing the transmission of nociceptive signals to higher brain centers (González Gómez, 2005; Flaherty, 2013). This spinal mechanism is independent of descending inhibitory pathways; indeed, Hämäläinen & Pertovaara (1995) demonstrated that the spinal antinociceptive effect of medetomidine persists even after spinal cord transection, confirming a direct spinal action rather than activation of descending inhibition. Hirata et al. (1995) further supported this by showing that clonidine and tizanidine suppressed nociceptive neurons in the thalamus through spinal mechanisms.

3.2. Subtypes of Alpha-2 Adrenoceptors

Three distinct subtypes of alpha-2 adrenoceptors (A, B, and C) have been identified, each mediating different physiological effects. Alpha-2A receptors are primarily responsible for sedation, analgesia, hypotension, and bradycardia, while alpha-2B receptors mediate the initial vasoconstriction and reflex bradycardia, and alpha-2C receptors are involved in hypothermia (Lemke, 2004). Currently, no subtype-selective agonists are available for clinical use, but the development of alpha-2A-selective agonists could potentially enhance analgesia while reducing cardiovascular side effects (Lemke, 2004; González Gómez, 2005).

3.3. Systemic, Epidural, and Local Analgesic Effects

Alpha-2 agonists can produce analgesia through various routes of administration, with different mechanisms depending on the route.

Systemic administration: When administered intravenously or intramuscularly, alpha-2 agonists activate both supraspinal and spinal alpha-2 receptors. Supraspinal activation, particularly in the LC, triggers descending inhibitory pathways that modulate nociceptive transmission at the spinal level (González Gómez, 2005). Additionally, systemic administration leads to presynaptic inhibition of neurotransmitter release in the dorsal horn, reducing the excitability of nociceptive neurons (Hämäläinen & Pertovaara, 1995).

Epidural and intrathecal administration: Direct administration of alpha-2 agonists into the epidural or intrathecal space produces profound segmental analgesia by stimulating alpha-2 receptors on spinal nociceptive neurons (Jones, 2001; Valverde, 2008; Duke, 2013). This route provides analgesia without significant motor blockade, making it particularly useful for orthopedic and pelvic surgeries. Rector et al. (1998) demonstrated that epidural xylazine in dogs produced antinociception lasting more than 4 hours, with a local spinal mechanism that was not reversed by systemic atipamezole. Similarly, Odette & Smith (2013) showed that epidural dexmedetomidine added to bupivacaine provided effective postoperative analgesia in dogs undergoing pelvic orthopedic surgery. Lima et al. (2011) also reported that epidural medetomidine combined with lidocaine provided stable anesthesia and good quality recovery in cats.

Local (perineural) administration: Alpha-2 agonists can also be used as adjuvants to local anesthetics in peripheral nerve blocks. Perineural dexmedetomidine enhances the quality and duration of nerve blocks through a combination of local vasoconstriction and direct alpha-2 receptor-mediated inhibition of C-fiber conduction (Ascione et al., 2025). In a case report, Ascione et al. (2025) demonstrated that adding dexmedetomidine to ropivacaine in an erector spinae plane block in a polytraumatized cat prolonged analgesia in a dose-dependent manner. Henderson & Tisotti (2025) also reported successful use of a high-dose dexmedetomidine CRI in a dog undergoing partial pancreatectomy, highlighting the versatility of alpha-2 agonists in complex cases.

3.4. Comparison with Opioid Mechanisms

While both alpha-2 agonists and opioids produce analgesia, their mechanisms differ significantly. Opioids primarily act on mu, kappa, and delta receptors, leading to inhibition of calcium channels and activation of potassium channels, which reduces neuronal excitability (Mathis et al., 2024; Taylor, 1999). In contrast, alpha-2 agonists act through G-protein-coupled adrenoceptors, reducing cyclic AMP levels and inhibiting neurotransmitter release (Lemke, 2004). Importantly, alpha-2 agonists do not cause significant respiratory depression, a major advantage over opioids (Lemke, 2004; Murrell & Hellebrekers, 2005). However, opioids are

generally considered to provide more profound analgesia for intense surgical stimuli, while alpha-2 agonists may be more effective for visceral pain and as part of a multimodal approach (Polati et al., 1997; Vainio & Ojala, 1994).

An important distinction that has significant clinical implications is the differential efficacy of alpha-2 agonists against visceral versus somatic pain. Alpha-2 agonists appear to be particularly effective against visceral pain, which arises from internal organs and is mediated by different neural pathways than somatic pain. In horses, xylazine and detomidine produce profound visceral analgesia, with xylazine providing 15–30 minutes and detomidine up to 4 hours of relief from colic pain (Dart, 1999). This visceral analgesic effect is mediated by alpha-2 receptors in the spinal dorsal horn that are specifically involved in processing visceral nociceptive signals. In contrast, the efficacy of alpha-2 agonists against somatic pain—such as incisional pain or bone pain—is more limited and may require higher doses or combination with other analgesics (Ko et al., 2024). This distinction is clinically relevant: for procedures involving visceral manipulation (e.g., ovariohysterectomy, abdominal surgery), alpha-2 agonists may provide more effective sole analgesia than for procedures involving somatic tissue damage (e.g., orthopedic surgery, skin incisions). Future studies should specifically evaluate the analgesic efficacy of alpha-2 agonists against different pain types to better define their role as sole analgesics.

3.5. Synergistic Interactions with Other Drugs

Alpha-2 agonists exhibit synergistic analgesic effects when combined with opioids, ketamine, or local anesthetics. The combination of alpha-2 agonists and opioids produces enhanced analgesia with reduced doses of both drugs, minimizing side effects (Lemke, 2004; González Gómez, 2005). Similarly, the combination of alpha-2 agonists with ketamine is widely used in veterinary anesthesia; the alpha-2 agonist counteracts the sympathomimetic and excitatory effects of ketamine while contributing to analgesia (Bufalari et al., 1996; Belda et al., 2009). Sandbaumbüter et al. (2015) demonstrated that medetomidine and dexmedetomidine inhibit ketamine metabolism, potentially prolonging its effects. The synergistic interaction between alpha-2 agonists and benzodiazepines, such as midazolam, also enhances sedation and muscle relaxation (Hayashi et al., 1994).

4. Clinical Evidence: Use as Sole Analgesic

The central question of this review—whether alpha-2 agonists can serve as sole analgesics—requires careful examination of clinical studies that have evaluated these drugs without concurrent administration of other analgesics.

4.1. Early Evidence from Clinical Trials

The foundational evidence for alpha-2 agonists as sole analgesics comes from early clinical trials. Vähä-Vahe (1989) conducted a large multicenter study involving 1,736 dogs and 678 cats, demonstrating that medetomidine alone (30–40 µg/kg in dogs, 80–110 µg/kg in cats) provided effective sedation and analgesia for examinations, clinical procedures, and minor surgical interventions. Overall suitability was rated as satisfactory or very satisfactory in 95% of dogs and 81–96% of cats, with the authors concluding that medetomidine alone suffices for pharmacological restraint. Similarly, Cullen (1996) confirmed that medetomidine as a sole agent produced dose-dependent sedation and analgesia, with recommended doses for clinical use.

Vainio & Ojala (1994) provided compelling comparative evidence by evaluating medetomidine (10 µg/kg) versus buprenorphine (20 µg/kg) for postoperative pain management in dogs undergoing thoracotomy. Medetomidine produced better analgesia, as indicated by lower

catecholamine levels, and the authors concluded that medetomidine and other alpha-2 agonists possess significant potential for postoperative pain alleviation.

4.2. Studies Specifically Evaluating Sole Analgesic Use

Several studies have directly assessed the efficacy of alpha-2 agonists as sole analgesics for specific procedures. Granholm et al. (2006) conducted a blinded randomized multicenter trial in 120 cats receiving either dexmedetomidine (0.04 mg/kg) or medetomidine (0.08 mg/kg) for minor procedures. Both drugs provided adequate sedation and analgesia for radiography, grooming, dental care, and abscess lancing in over 90% of cases, with comparable efficacy between the two drugs. Carvalho et al. (2019) similarly demonstrated that a low dose of dexmedetomidine (5 µg/kg) in cats produced smooth sedation, although cardiovascular monitoring was warranted due to bradycardia.

In dogs, Ko et al. (2024) evaluated dexmedetomidine constant rate infusion (CRI) and found profound sedation but only minimal analgesia in response to electrical stimulation, suggesting that while sedation is reliable, analgesic efficacy may be insufficient for painful procedures. This study highlights an important distinction: sedation does not equate to adequate analgesia, and the analgesic ceiling of alpha-2 agonists may be limited.

A summary of key clinical trials evaluating alpha-2 agonists as sole analgesics is presented in Table 1.

Table 1: Summary of Clinical Studies Evaluating Alpha-2 Agonists as Sole Analgesics in Dogs and Cats

Study (Year)	Species	Drug & Dose	Procedure	Key Findings
Vähä-Vahe (1989)	Dogs (n=1736) Cats (n=678)	Medetomidine & µg/kg in dogs; µg/kg in cats)	(30–40Examinations, minor surgery, 80–110radiography	95% (dogs) and 81–96% (cats) rated as satisfactory/very satisfactory; effective as sole agent for pharmacological restraint.
Granholm et al. (2006)	Cats (n=120)	Dexmedetomidine (0.04 mg/kg) or Medetomidine (0.08 mg/kg)	Radiography, grooming, dental care, abscess lancing	>90% successful completion of procedures; comparable efficacy between drugs.
Carvalho et al. (2019)	Cats (n=11)	Dexmedetomidine µg/kg)	(5Diagnostic/minimally invasive procedures	Smooth sedation; bradycardia noted; cardiovascular monitoring recommended.
Ko et al. (2024)	Dogs (n=6)	Dexmedetomidine (up to 60 µg/kg/h)	CRIExperimental stimulation)	(electricalProfound sedation; minimal analgesia; limited efficacy for painful stimuli.
Vainio & Ojala (1994)	Dogs (n=12)	Medetomidine (10 µg/kg) vs. Buprenorphine (20 µg/kg)	Post-thoracotomy pain	Medetomidine superior to buprenorphine; lower catecholamine levels.

As summarized in Table 1, the collective evidence from these clinical trials demonstrates that while alpha-2 agonists provide reliable sedation and analgesia for minor procedures, their efficacy for more intense painful stimuli remains limited. The findings of Ko et al. (2024) are particularly noteworthy, as they highlight a critical distinction between sedation and true analgesia, suggesting a ceiling effect in the analgesic efficacy of these drugs. This ceiling effect may limit their utility as sole analgesics in procedures involving significant nociceptive stimulation.

It is important to acknowledge a critical limitation in many of the studies evaluating alpha-2 agonists as sole analgesics: the reliance on behavioral pain scores that may be confounded by profound sedation. Deep sedation can mask behavioral responses to pain, while neuroendocrine and hemodynamic responses (such as increased heart rate, blood pressure, or catecholamine release) may persist despite apparent behavioral calm. Therefore, studies that rely solely on behavioral assessments may overestimate the analgesic efficacy of alpha-2 agonists. Future studies should incorporate objective measures of analgesia, such as nociceptive withdrawal reflex thresholds (Siegenthaler et al., 2020) or neuroendocrine biomarkers, to more accurately distinguish sedation from true analgesia.

Recent meta-analyses have provided additional quantitative evidence supporting the analgesic efficacy of dexmedetomidine. Chen et al. (2022), in a meta-analysis of 37 randomized controlled trials comprising 5,409 patients, demonstrated that dexmedetomidine significantly reduced pain scores at 24 hours (MD = -0.70) and 48 hours (MD = -0.43) postoperatively, along with a significant reduction in analgesic consumption (SMD = -0.25) and the need for rescue analgesia (OR = 0.54). Similarly, Yu et al. (2023), in a meta-analysis of 32 studies including 2,509 patients, reported that dexmedetomidine-based opioid-free anesthesia significantly reduced 2-hour postoperative pain scores (MD = -0.53) and the requirement for rescue analgesia (RR = 0.70). These findings provide robust evidence that alpha-2 agonists, particularly dexmedetomidine, can effectively reduce pain and opioid requirements in the perioperative period.

4.3. Comparison with Opioids

Comparative studies have consistently demonstrated that alpha-2 agonists provide analgesia comparable to, or in some cases superior to, opioids for certain types of pain. Vainio & Ojala (1994) found medetomidine superior to buprenorphine for post-thoracotomy pain in dogs. In a survey of Thai veterinarians, alpha-2 agonists were the most widely used analgesics (84%), surpassing postoperative NSAIDs and preoperative opioids, indicating their practical acceptance as primary analgesic agents (Thunpattranon et al., 2025). Similarly, Gates et al. (2020) found that medetomidine-ketamine combinations were the most common premedication for feline ovariohysterectomy, highlighting the reliance on alpha-2 agonists in routine surgical practice.

4.4. Limitations and Conflicting Evidence

Despite promising evidence, several studies have raised concerns about the adequacy of alpha-2 agonists as sole analgesics. Siegenthaler et al. (2020) demonstrated that while medetomidine and dexmedetomidine significantly increased nociceptive withdrawal reflex thresholds in dogs, the effect was fully reversed by atipamezole, meaning that if the antagonist is administered, all analgesic effects are lost. This reversibility, while clinically useful, also indicates that analgesic effects are entirely dependent on ongoing alpha-2 receptor stimulation.

Furthermore, the cardiovascular side effects of alpha-2 agonists—particularly bradycardia and reduced cardiac output—may limit their use in patients with pre-existing cardiac disease (Joerger et al., 2023; Siao et al., 2017). In healthy patients, these effects are generally well-tolerated, but they underscore the need for careful patient selection when using alpha-2 agonists as sole agents (Lemke, 2004).

5. Challenges and Adverse Effects

Despite the promising analgesic efficacy of alpha-2 agonists, their clinical utility as sole analgesics is significantly constrained by a range of adverse effects, particularly on the cardiovascular, respiratory, and gastrointestinal systems. These effects are dose-dependent and

may limit their use in certain patient populations. The clinical utility of alpha-2 agonists as sole analgesics is defined by a balance of advantages and disadvantages, which are summarized in Table 2.

Table 2: Advantages and Disadvantages of Using Alpha-2 Agonists as Sole Analgesics

Advantages	Disadvantages
Reliable Sedation & Analgesia: Dose-dependent effects suitable for minor procedures (Lemke, 2004; Granholm et al., 2006).	Cardiovascular Effects: Significant bradycardia, reduced cardiac output, and hypertension (Joerger et al., 2023; Siao et al., 2017).
Reversibility: Effects rapidly reversed by atipamezole, increasing safety (Siegenthaler et al., 2020).	Respiratory Effects: Mild hypoxemia possible, especially when combined with other drugs (Hoon et al., 2026).
Reduced Respiratory Depression: Safer than opioids in patients with respiratory compromise (Lemke, 2004).	Gastrointestinal Effects: Vomiting (up to 65% in cats) and reduced motility (Cullen, 1996; Lemke, 2004).
Multimodal Potential: Synergistic interactions with ketamine, opioids, and local anesthetics (Bufalari et al., 1996).	Analgesic Ceiling: Insufficient for intense surgical pain (Ko et al., 2024).
Opioid-Sparing Effect: Reduces opioid requirements in multimodal protocols (Pascal et al., 2020).	Limited Duration: Short duration of action (1-2 hours), requiring repeated dosing (Cullen, 1996).
Anti-inflammatory Effects: Reduces pro-inflammatory cytokines such as IL-6 and TNF- α (Chen et al., 2022).	Prolonged Recovery: Extended extubation time and PACU stay (Yu et al., 2023).

As outlined in Table 2, the most significant disadvantage is the dose-dependent cardiovascular depression, which includes marked bradycardia and reduced cardiac output (Lemke, 2004; Joerger et al., 2023). While these effects are generally well-tolerated in healthy patients, they can be detrimental in those with pre-existing cardiac disease or hemodynamic instability. The gastrointestinal effects, particularly vomiting, are also clinically relevant, especially in cats where incidence can reach up to 65% (Cullen, 1996). Despite these challenges, the reversibility of alpha-2 agonists with atipamezole and their opioid-sparing potential remain significant advantages that support their use in clinical practice.

Recent meta-analyses have quantified the risks and benefits of dexmedetomidine use. Chen et al. (2022) reported that dexmedetomidine significantly reduced the incidence of postoperative nausea and vomiting (OR = 0.47) and pruritus (OR = 0.45), while increasing the risk of bradycardia (OR = 1.66). Importantly, there was no significant difference in the incidence of hypotension between dexmedetomidine and control groups. Yu et al. (2023) similarly found that dexmedetomidine significantly reduced PONV (RR = 0.40) but increased the risk of bradycardia (RR = 2.13) and prolonged extubation time (MD = 2.40 minutes) and PACU stay (SD = 0.65). These findings highlight the need for careful patient selection and monitoring when using alpha-2 agonists, particularly in patients at risk for bradycardia or those requiring rapid recovery.

Additionally, Chen et al. (2022) demonstrated that dexmedetomidine significantly reduced inflammatory cytokine levels, including IL-6 (MD = -5.73) and TNF- α (MD = -0.63) at 24 hours post-surgery, suggesting an additional anti-inflammatory benefit beyond analgesia.

5.1. Cardiovascular Effects

The most clinically significant adverse effects of alpha-2 agonists are cardiovascular. These drugs produce a biphasic cardiovascular response: an initial peripheral phase characterized by vasoconstriction and hypertension, followed by a central phase marked by decreased sympathetic tone, bradycardia, and reduced cardiac output (Lemke, 2004; Murrell & Hellebrekers, 2005). The magnitude of these effects varies with the specific drug, dose, and route of administration.

Joerger et al. (2023) demonstrated that intramuscular medetomidine in dogs reduced cardiac output by 47–96% compared to a medetomidine-vatinoxan combination, highlighting the

profound hemodynamic depression induced by alpha-2 agonists alone. Similarly, Siao et al. (2017) found that dexmedetomidine in cats caused significant decreases in cardiac index and increases in systemic vascular resistance, with mean arterial pressure reaching 181 mmHg. These effects, while generally well-tolerated in healthy patients, can be detrimental in patients with pre-existing cardiac disease or hemodynamic instability.

Bockay et al. (2024) reported that both butorphanol-medetomidine and butorphanol-dexmedetomidine combinations caused significant reductions in heart rate and cardiac output in dogs, with new valvular regurgitation occurring following administration. This finding underscores the potential for clinically significant cardiac effects even in healthy patients. In a case report, Castro et al. (2024) documented sinus bradycardia, first- and second-degree atrioventricular blocks, and increased QRS duration in a healthy dog receiving dexmedetomidine combined with ketamine and methadone, further illustrating the arrhythmogenic potential of these drugs.

5.2. Respiratory Effects

Compared to opioids, alpha-2 agonists have relatively minor effects on respiratory function. While respiratory rate decreases after administration of medetomidine or dexmedetomidine, blood gas values typically remain within normal limits in healthy patients (Lemke, 2004). However, hypoxemia can occur, particularly when alpha-2 agonists are combined with other respiratory depressants. Carvalho et al. (2019) found that low-dose dexmedetomidine in cats caused mild respiratory depression, and Hoon et al. (2026) reported mild hypoxemia (SpO₂ 90–94%) in dogs receiving alfaxalone combined with dexmedetomidine or butorphanol, with supplemental oxygen recommended.

5.3. Gastrointestinal Effects

Vomiting is a common side effect of alpha-2 agonists, occurring in approximately 12% of dogs and up to 65% of cats (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996). This effect is mediated by activation of alpha-2 receptors in the chemoreceptor trigger zone and may be advantageous in preventing aspiration if food has not been withheld (Lemke, 2004). However, vomiting can increase intraocular pressure, posing a risk in patients with ocular injury or disease. Alpha-2 agonists also decrease gastrointestinal motility and increase sphincter tone, which may contribute to postoperative ileus (Lemke, 2004).

5.4. Other Adverse Effects

Additional effects include muscle jerking (reported in 0.5–2% of dogs), hypothermia, changes in endocrine function (including inhibition of insulin release and hyperglycemia), and diuresis due to interference with antidiuretic hormone (Cullen, 1996; Lemke, 2004). While these effects are generally transient and well-tolerated, they may complicate management in critically ill patients.

5.5. Patient Selection and Contraindications

Given the significant cardiovascular effects, alpha-2 agonists should be used with caution in patients with cardiac disease, hypotension, shock, respiratory disease, hepatic or renal insufficiency, and in geriatric or pediatric patients (Lemke, 2004; Paddleford & Harvey, 1999). In healthy patients, however, low-dose alpha-2 agonists are generally well-tolerated and can be safely used as sole analgesics for minor procedures (Granholt et al., 2006; Carvalho et al., 2019).

6. Comparison of Different Alpha-2 Agonists

Not all alpha-2 agonists are identical in their pharmacological profile, potency, and clinical effects. Understanding these differences is essential for selecting the most appropriate drug when considering their use as sole analgesics.

6.1. Xylazine

Xylazine, the oldest alpha-2 agonist in veterinary use, was introduced in 1962 and remains widely used in large animal practice (Greene, 1999). In small animals, xylazine provides dose-dependent sedation and analgesia, but its selectivity for the alpha-2 receptor is lower than that of newer agents, resulting in more pronounced alpha-1-mediated side effects (Lemke, 2004). Rector et al. (1998) demonstrated that epidural xylazine (0.25 mg/kg) in dogs produced antinociception lasting over 4 hours, with effects mediated through both local spinal and systemic actions. However, xylazine is less potent and has a shorter duration of action compared to medetomidine, limiting its utility in small animal practice (Lemke, 2004).

6.2. Medetomidine

Medetomidine is a racemic mixture of two enantiomers, dexmedetomidine (the active form) and levomedetomidine (inactive). It is approximately 10 times more selective for the alpha-2 receptor than xylazine, providing more reliable and dose-dependent sedation and analgesia (Lemke, 2004; Virtanen, 1989). Medetomidine has been extensively studied in dogs and cats, with optimal clinical doses of 30–40 µg/kg in dogs and 80–110 µg/kg in cats for sedation and analgesia (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996). Its effects are rapidly reversible with atipamezole, a significant clinical advantage (Lemke, 2004; Granholm et al., 2006).

6.3. Dexmedetomidine

Dexmedetomidine, the active d-enantiomer of medetomidine, has been increasingly adopted in small animal practice due to its enhanced selectivity and reduced volume of distribution (Murrell & Hellebrekers, 2005). It is approximately twice as potent as medetomidine, with equivalent analgesic effects at half the dose (Granholm et al., 2006; Raszplewicz et al., 2013). In cats, dexmedetomidine (0.04 mg/kg) produced comparable sedative and analgesic effects to medetomidine (0.08 mg/kg), with both drugs achieving over 90% success in completing minor procedures (Granholm et al., 2006).

Bockay et al. (2024) compared butorphanol-medetomidine (15 µg/kg medetomidine) and butorphanol-dexmedetomidine (7.5 µg/kg dexmedetomidine) in dogs and found similar reductions in heart rate and cardiac output, but dexmedetomidine caused a significant increase in left ventricular internal diameter and left atrial diameter compared to medetomidine. This suggests subtle cardiovascular differences between the two drugs that may influence clinical choice.

6.4. Romifidine

Romifidine, a clonidine derivative, is more selective than xylazine but less selective than medetomidine. It is not labeled for use in small animals but has been studied in dogs and cats (Lemke, 2004; Belda et al., 2009). Belda et al. (2009) evaluated romifidine-ketamine combinations in cats and found that anesthesia was only reliable for brief, noninvasive procedures, with slower onset and shorter duration compared to other alpha-2 agonists. The slower onset of action and limited clinical experience restrict its use in small animal practice (Lemke, 2004).

6.5. Tasipimidine

Tasipimidine is a newer alpha-2 agonist developed for oral administration, offering a potentially more convenient route for premedication and sedation. Kästner et al. (2024) evaluated oral

tasipimidine in dogs and found it induced mild to moderate cardiovascular depression, with a 20–30% reduction in heart rate and cardiac output. While it can be incorporated into anesthetic protocols without detrimental effects in healthy dogs, its role as a sole analgesic remains to be fully defined.

6.6. Clinical Implications

The choice of alpha-2 agonist for sole analgesic use depends on the clinical context. For minor procedures in healthy patients, medetomidine or dexmedetomidine are preferred due to their reliability, reversibility, and extensive safety data (Granholt et al., 2006; Lemke, 2004). Dexmedetomidine offers the advantage of lower dosing volume and potentially faster recovery, making it suitable for outpatient procedures (Bruniges et al., 2016). Xylazine and romifidine have limited roles in small animal analgesia, while tasipimidine may offer future potential as an oral option. A comparative overview of the pharmacological profiles of different alpha-2 agonists is provided in Table 3.

Table 3: Comparison of Different Alpha-2 Adrenergic Receptor Agonists

Drug	Selectivity	Potency	Key Features	Clinical Use as Sole Analgesic
Xylazine	Low (less α_2 -Low selective)	Low	Oldest agent; more α_1 -mediated side effects; short duration (Greene, 1999; Lemke, 2004).	Limited; less reliable and more side effects.
Medetomidine	High	Intermediate	Racemic mixture; 10x more selective than xylazine; reversible (Lemke, 2004; Virtanen, 1989).	Preferred; reliable sedation and analgesia for minor procedures.
Dexmedetomidine	Very High	High	Active enantiomer; 2x more potent than medetomidine; cardiovascular differences (Bockay et al., 2024).	Preferred; faster recovery and lower dosing volume.
Romifidine	Moderate	Low	Clonidine derivative; not labeled for small animals; slow onset (Belda et al., 2009).	Not recommended in small animals.
Tasipimidine	High	Unknown	Newer oral agent; mild to moderate CV effects; convenient route (Kästner et al., 2024).	Role as sole analgesic still undefined.

As shown in Table 3, medetomidine and dexmedetomidine offer the most favorable profiles for use as sole analgesics in small animal practice, due to their high selectivity, reliability, and reversibility. Dexmedetomidine, with its higher potency and faster recovery, is particularly suitable for outpatient procedures. In contrast, xylazine and romifidine have limited roles in small animal analgesia, while the oral route of tasipimidine presents an interesting avenue for future research, although its analgesic efficacy as a sole agent remains to be fully determined.

6.7. Species-Specific Considerations

While alpha-2 agonists are used in both dogs and cats, significant species differences exist in terms of dosage requirements, adverse effect profiles, and clinical responses. These differences are primarily attributed to variations in receptor sensitivity, metabolic rates, and pharmacokinetic parameters between the two species. A comparative overview of species-specific considerations is presented in Table 4.

Table 4: Species-Specific Comparison of Alpha-2 Agonist Use in Dogs and Cats

Feature	Dog	Cat
Medetomidine IM dose (as sole analgesic)	30–40 $\mu\text{g/kg}$ (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996)	80–110 $\mu\text{g/kg}$ (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996)
Dexmedetomidine IM dose (as sole analgesic)	2–5 $\mu\text{g/kg}$ (Lemke, 2004; Raszplewicz et al., 2013)	5–10 $\mu\text{g/kg}$ (Granholt et al., 2006; Carvalho et al., 2019)

Incidence of vomiting	~12% (Cullen, 1996; Vähä-Up to 65% (Cullen, 1996; Vähä-Vahe, Vahe, 1989) 1989)
Cardiovascular sensitivity	Moderate; well-tolerated in healthy patients (Lemke, 2004) High; more pronounced bradycardia and hypotension (Siao et al., 2017; Carvalho et al., 2019)
Response to atipamezole reversal	Complete and rapid (Lemke, 2004; Siegenthaler et al., 2020) Complete and rapid (Granholm et al., 2006; Bruniges et al., 2016)
Sedation quality	Reliable and dose-dependent (Lemke, 2004) Reliable but higher doses required for equivalent effect (Granholm et al., 2006)
Analgesic efficacy for minor procedures	Effective in >90% of cases (Vähä-Vahe, 1989) Effective in >90% of cases (Granholm et al., 2006)
Recommended patient monitoring	Standard cardiovascular monitoring (Lemke, 2004) Close cardiovascular monitoring; supplemental oxygen recommended (Carvalho et al., 2019; Hoon et al., 2026)

As shown in Table 4, cats require significantly higher doses of medetomidine (80–110 µg/kg) compared to dogs (30–40 µg/kg) to achieve comparable sedative and analgesic effects (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996). This species difference is also observed with dexmedetomidine, where cats require approximately double the dose of dogs (Granholm et al., 2006; Lemke, 2004). The most clinically significant species difference is the incidence of vomiting, which affects up to 65% of cats compared to only 12% of dogs (Cullen, 1996; Vähä-Vahe, 1989). This effect is mediated by activation of alpha-2 receptors in the chemoreceptor trigger zone and may be considered an advantage in preventing aspiration if food has not been withheld (Lemke, 2004).

Cats also exhibit greater cardiovascular sensitivity to alpha-2 agonists, with more pronounced bradycardia and hypotension compared to dogs (Siao et al., 2017; Carvalho et al., 2019). This heightened sensitivity necessitates closer cardiovascular monitoring in feline patients, and supplemental oxygen is recommended when alpha-2 agonists are used, particularly when combined with other respiratory depressants (Hoon et al., 2026). Despite these differences, the response to atipamezole reversal is complete and rapid in both species, making these drugs safe and manageable when appropriate doses and monitoring are employed (Granholm et al., 2006; Siegenthaler et al., 2020).

7. New Approaches and Future Perspectives

As the limitations of alpha-2 agonists as sole analgesics become better understood, several innovative strategies are emerging to optimize their clinical utility. These approaches focus on mitigating adverse effects, enhancing analgesic efficacy, and expanding the range of procedures where alpha-2 agonists can be used as primary analgesic agents.

7.1. Peripheral Alpha-2 Antagonists: Vatinoxan (MK-467)

One of the most significant recent developments is the introduction of peripheral alpha-2 antagonists such as vatinoxan (formerly MK-467). These compounds do not cross the blood-brain barrier and selectively block peripheral alpha-2 receptors, thereby reducing the cardiovascular side effects of alpha-2 agonists while preserving their central analgesic effects (Joerger et al., 2023; Siao et al., 2017).

Joerger et al. (2023) demonstrated that adding vatinoxan to medetomidine in dogs reduced cardiac output depression from 47–96% to a less severe degree, with significantly lower systemic vascular resistance and pulmonary artery pressures. Similarly, Siao et al. (2017)

showed that in cats, MK-467 shortened the duration of dexmedetomidine-induced hypertension and prevented significant decreases in cardiac index. These findings suggest that vatinoxan may allow the use of higher or more prolonged doses of alpha-2 agonists for analgesia without the associated cardiovascular compromise. McKenzie et al. (2024) compared dexmedetomidine alone to a medetomidine-vatinoxan combination in dogs undergoing intradermal testing and found that vatinoxan accelerated the onset of sedation (10 vs. 18 minutes) without compromising muscle tissue oxygen saturation.

However, the clinical application of vatinoxan is not without challenges. In a case report of accidental coadministration of medetomidine-vatinoxan instead of medetomidine alone in a cat, subsequent ketamine administration resulted in severe excitement and tachycardia, indicating that the attenuated central effects of medetomidine were insufficient to counteract ketamine's excitatory actions (Koura et al., 2025). The case report by Koura et al. (2025) presents an apparent paradox: if vatinoxan is truly peripheral and does not cross the blood-brain barrier, why did coadministration of medetomidine-vatinoxan fail to counteract ketamine-induced excitement? Several explanations are possible. First, at the doses used, vatinoxan may have partially crossed the blood-brain barrier or exerted indirect central effects through peripheral mechanisms. Second, the attenuated central effects of medetomidine—even if only partially reduced—may have been insufficient to counteract the potent excitatory effects of ketamine in this particular case. Third, individual variability in drug metabolism and blood-brain barrier permeability may have played a role. This case highlights that while vatinoxan effectively reduces the cardiovascular side effects of alpha-2 agonists, its impact on central analgesia may be more complex than initially assumed. Clinicians should exercise caution when using vatinoxan combinations, particularly in protocols that rely on alpha-2 agonists to counteract the excitatory effects of other drugs such as ketamine. Further research is needed to fully elucidate the pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions between vatinoxan and alpha-2 agonists in different clinical contexts.

7.2. Opioid-Free and Opioid-Sparing Protocols

The growing movement toward opioid-free anesthesia (OFA) has renewed interest in alpha-2 agonists as primary analgesic agents. Didier et al. (2024) demonstrated that a protocol using medetomidine, ketamine CRI, and loco-regional blocks provided postoperative opioid-free analgesia in all dogs undergoing TPLO surgery, although 45% of dogs required intraoperative fentanyl rescue. Similarly, Lee et al. (2026) compared OFA and opioid-sparing protocols in dogs undergoing dental procedures and found that OFA protocols (medetomidine premedication with ketamine and/or lidocaine CRI) provided effective nociceptive control, with no significant differences in postoperative pain scores compared to the opioid-sparing group. Pascal et al. (2020) also reported that a low-dose medetomidine CRI reduced intraoperative fentanyl requirements in dogs undergoing hemilaminectomy.

Yu et al. (2023), in a meta-analysis of 32 studies, confirmed that dexmedetomidine-based opioid-free anesthesia significantly reduced postoperative pain scores and the requirement for rescue analgesia, although it was associated with prolonged extubation time and increased risk of bradycardia. These findings suggest that alpha-2 agonists, when combined with other non-opioid drugs and loco-regional techniques, can effectively replace opioids in many surgical settings, particularly when opioid side effects or availability are concerns.

7.3. Enhanced Regional Anesthesia Techniques

Alpha-2 agonists are increasingly used as adjuvants in regional anesthesia to prolong and enhance the quality of nerve blocks. Perineural dexmedetomidine has been shown to prolong

the duration of analgesia in peripheral nerve blocks through local alpha-2 receptor activation and vasoconstriction (Ascione et al., 2025). In a polytraumatised cat, Ascione et al. (2025) reported that increasing the dose of dexmedetomidine in erector spinae plane blocks prolonged analgesia from 3 to 7.5 hours, demonstrating a dose-dependent effect.

However, not all studies have shown benefit. Brioschi et al. (2024) found that adding dexmedetomidine or magnesium sulphate to ropivacaine for sciatic and saphenous nerve blocks in dogs did not significantly improve perioperative analgesia or prolong motor blockade, suggesting that the benefit of adjuvants may be context-dependent.

7.4. EEG-Guided Sedation and Monitoring

Advances in neuromonitoring, particularly electroencephalography (EEG), may improve the precision of alpha-2 agonist administration. Ko et al. (2024) demonstrated that EEG could effectively track the depth of dexmedetomidine sedation in dogs, with the Patient State Index (PSI) decreasing from 90 to 29–33 during deep sedation and returning to baseline after atipamezole reversal. This technology may allow anesthesiologists to titrate alpha-2 agonists more accurately, minimizing under- or over-sedation and improving analgesic outcomes.

7.5. Future Research Directions

Despite the progress, several knowledge gaps remain. Future research should focus on:

- Identifying optimal dosing strategies for alpha-2 agonists as sole analgesics in specific procedures and patient populations.
- Exploring synergistic combinations with other non-opioid analgesics (e.g., ketamine, lidocaine, NSAIDs) to enhance efficacy while minimizing side effects.
- Developing subtype-selective alpha-2 agonists that preferentially target analgesic receptors (alpha-2A) while avoiding cardiovascular receptors (alpha-2B).
- Validating EEG-based monitoring and other objective pain assessment tools for routine use in veterinary practice.
- Evaluating long-term safety of repeated or prolonged alpha-2 agonist administration, particularly in geriatric or compromised patients.
- Investigating the immunosuppressive effects of alpha-2 agonists, which have been raised as a concern in human studies (Chen et al., 2022) and warrant further investigation in veterinary patients.

8. Discussion: Myth or Reality?

The central question of this review—whether alpha-2 agonists can serve as sole analgesics in canine and feline anesthesia—can now be addressed by synthesizing the evidence presented across the preceding sections. The answer, as is often the case in clinical pharmacology, is nuanced: alpha-2 agonists as sole analgesics are a reality for specific clinical contexts, but a myth when considered universally applicable.

8.1. Evidence Supporting the "Reality"

There is compelling evidence that alpha-2 agonists can provide sufficient analgesia as sole agents for certain procedures and patient populations. However, it must be acknowledged that many of these early studies relied on behavioral pain scores, which can be confounded by the profound sedative effects of alpha-2 agonists. True analgesic efficacy, as measured by objective parameters such as nociceptive withdrawal reflex thresholds, may be more limited than behavioral assessments suggest (Ko et al., 2024; Siegenthaler et al., 2020). Early clinical trials demonstrated that medetomidine alone provided effective sedation and analgesia for examinations, radiography, wound suturing, and minor surgical interventions in over 90% of

dogs and cats (Vähä-Vahe, 1989; Cullen, 1996). Granholm et al. (2006) confirmed these findings in a multicenter trial, showing that dexmedetomidine or medetomidine alone achieved successful completion of minor procedures in 90% of cats. Similarly, Carvalho et al. (2019) demonstrated that low-dose dexmedetomidine produced smooth sedation in cats, sufficient for diagnostic and minimally invasive procedures.

Comparative studies further support the analgesic efficacy of alpha-2 agonists. Vainio & Ojala (1994) found that medetomidine provided superior analgesia compared to buprenorphine in dogs undergoing thoracotomy, as evidenced by lower catecholamine levels and improved pain scores. This suggests that in certain pain models, alpha-2 agonists may outperform traditional opioids.

The widespread clinical acceptance of alpha-2 agonists as primary analgesics is reflected in survey data. Thunpattranon et al. (2025) reported that alpha-2 agonists were the most commonly used analgesics among Thai veterinarians (84%), surpassing NSAIDs and opioids. Similarly, Gates et al. (2020) found that medetomidine-ketamine combinations were the most frequent premedication for feline ovariohysterectomy, highlighting the practical reliance on alpha-2 agonists in routine surgery.

8.2. Evidence Supporting the "Myth"

Despite these positive findings, significant limitations challenge the concept of alpha-2 agonists as universal sole analgesics. The most critical limitation is the ceiling effect of analgesia. Ko et al. (2024) demonstrated that while dexmedetomidine produced profound sedation, its analgesic effect in response to electrical stimulation was only minimal, suggesting that the analgesic efficacy of alpha-2 agonists may plateau at a level insufficient for intense surgical stimuli.

Furthermore, the cardiovascular side effects of alpha-2 agonists—particularly bradycardia, reduced cardiac output, and hypertension—may limit their use in patients with pre-existing cardiac disease, hemodynamic instability, or in geriatric populations (Joerger et al., 2023; Siao et al., 2017; Lemke, 2004). These effects, while generally well-tolerated in healthy patients, can be detrimental in compromised individuals, necessitating careful patient selection and monitoring.

The reversibility of analgesia also presents a clinical challenge. Siegenthaler et al. (2020) showed that atipamezole completely reversed the antinociceptive effects of both medetomidine and dexmedetomidine within minutes. While this reversibility is an advantage for sedation management, it also means that analgesic effects are entirely dependent on ongoing alpha-2 receptor stimulation, and any interruption in drug delivery or antagonist administration will abolish pain relief.

8.3. Clinical Context: When Are Alpha-2 Agonists Sufficient as Sole Analgesics?

Based on the available evidence, alpha-2 agonists can be considered sufficient as sole analgesics in the following contexts:

1. **Minor, non-invasive procedures:** Radiography, ultrasound, wound suturing, dental scaling, abscess lancing, and grooming (Granholm et al., 2006; Vähä-Vahe, 1989; Carvalho et al., 2019).
2. **Procedures combined with loco-regional anesthesia:** When alpha-2 agonists are used alongside regional nerve blocks, they can provide effective sole analgesia even for more invasive procedures, as demonstrated by Ascione et al. (2025) in a polytraumatized cat and by Odette & Smith (2013) in dogs undergoing pelvic orthopedic surgery.

3. **Patients with opioid contraindications:** In patients where opioids are contraindicated due to respiratory compromise, ileus, or dysphoria, alpha-2 agonists may serve as the primary analgesic agent (Pieper, 2016; Lemke, 2004; ter Brugge et al., 2019).

4. **Opioid-free anesthesia protocols:** Recent studies have shown that alpha-2 agonists, when combined with ketamine and loco-regional blocks, can provide effective intraoperative and postoperative analgesia in procedures such as TPLO (Didier et al., 2024) and dental surgery (Lee et al., 2026), eliminating or significantly reducing opioid requirements.

5. **Awake procedures requiring arousable sedation:** Dexmedetomidine's ability to produce arousable sedation without respiratory depression makes it particularly suitable for procedures where patient cooperation is essential (ter Brugge et al., 2019). In a survey of Dutch pain specialists, 77% of respondents who used dexmedetomidine cited easy production of arousable sedation as its primary advantage.

8.4. When Are Alpha-2 Agonists Insufficient?

Conversely, alpha-2 agonists are insufficient as sole analgesics in the following scenarios:

1. **Intensely painful surgical procedures:** Such as abdominal surgery, thoracotomy, or major orthopedic procedures, where the intensity of nociceptive stimulation exceeds the analgesic ceiling of alpha-2 agonists (Ko et al., 2024; Didier et al., 2024).

2. **Patients with significant cardiovascular disease:** Where the bradycardia and reduced cardiac output induced by alpha-2 agonists may precipitate hemodynamic compromise (Joerger et al., 2023; Lemke, 2004).

3. **Procedures requiring rapid recovery:** While atipamezole can reverse sedation, the analgesia is also reversed; additional analgesics may be needed to maintain pain relief after antagonist administration (Siegenthaler et al., 2020; Bruniges et al., 2016).

4. **Patients requiring prolonged postoperative analgesia:** The duration of action of alpha-2 agonists is relatively short (typically 1-2 hours), and repeated dosing may be required for extended pain management (Cullen, 1996; Vähä-Vahe, 1989).

8.5. Balancing Efficacy and Safety

The decision to use alpha-2 agonists as sole analgesics requires careful risk-benefit assessment. In healthy patients undergoing minor procedures, the benefits of reliable sedation, analgesia, and reversibility often outweigh the risks of cardiovascular side effects (Lemke, 2004; Granholm et al., 2006). However, in high-risk patients or for painful procedures, a multimodal approach—combining alpha-2 agonists with opioids, ketamine, NSAIDs, or loco-regional techniques—is more appropriate and evidence-based (Pieper, 2016; Mathis et al., 2024; Taylor, 1999).

It is also important to consider the potential immunosuppressive effects of alpha-2 agonists. Chen et al. (2022) noted that dexmedetomidine may promote myeloid-derived suppressor cell proliferation and tumor metastasis in oncological patients, warranting further investigation in veterinary patients, particularly those with neoplasia.

9. Conclusion

In conclusion, the evidence supports that alpha-2 agonists can serve as effective sole analgesics in dogs and cats, but only within specific clinical contexts. For minor, non-invasive procedures in healthy patients, drugs such as medetomidine and dexmedetomidine provide reliable analgesia and sedation, with success rates exceeding 90% in controlled trials. However, for intensely painful surgical procedures or patients with significant cardiovascular disease, alpha-2 agonists alone are insufficient and should be integrated into multimodal protocols. The development of peripheral antagonists like vatinoxan and the growing adoption of opioid-free

anesthesia protocols represent promising future directions. Ultimately, the appropriate use of alpha-2 agonists as sole analgesics depends on careful patient selection, procedure type, and vigilant monitoring, making this strategy a clinical reality in selected cases rather than a universal myth.

To assist clinicians in making evidence-based decisions, a practical framework is proposed in Table 5 based on the available evidence.

Table 5: Clinical Decision-Making Framework for Alpha-2 Agonists as Sole Analgesics

Scenario	Procedure Type	Cardiovascular Status	Recommendation
1	Minor, non-invasive (radiography, wound suturing, dental scaling)	Healthy	Alpha-2 agonist alone is sufficient; monitor cardiovascular parameters (Granholm et al., 2006; Vähä-Vahe, 1989).
2	Minor, non-invasive	Compromised (cardiac disease, geriatric)	Use with caution; consider lower dose or alternative analgesics (Lemke, 2004; Paddleford & Harvey, 1999).
3	Moderately painful (ovariohysterectomy, cystotomy)	Healthy	Alpha-2 agonist alone may be insufficient; consider multimodal approach (Didier et al., 2024; Lee et al., 2026).
4	Moderately painful	Compromised	Multimodal approach required; avoid alpha-2 agonists if possible (Joerger et al., 2023; Lemke, 2004).
5	Intensely painful (thoracotomy, major orthopedic)	Any	Alpha-2 agonists alone are insufficient; multimodal protocol mandatory (Ko et al., 2024; Didier et al., 2024).

References

1. Ascione, F., Bortolami, E., Fontana, K., Margini, L., & Otero, P. E. (2025). Lumbar erector spinae plane block as part of multimodal analgesia in a polytraumatised cat (*Felis catus*). *Veterinary Record Case Reports*, 13(4), e70207.
2. Belda, E., Laredo, F. G., Escobar, M., Agut, A., Mansel, J. C., & Soler, M. (2009). Anaesthetic and cardiorespiratory effects of romifidine/ketamine combinations in cats. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 36(4), 299–307.
3. Bočkay, A., Agudelo, C. F., Figurová, M., Vargová, N., & Trbolová, A. (2024). Effect of Butorphanol-Medetomidine and Butorphanol-Dexmedetomidine on Echocardiographic Parameters during Propofol Anaesthesia in Dogs. *Animals*, 14(9), 1379.
4. Brioschi, F. A., Rabbogliatti, V., Auletta, L., Ravasio, G., Amari, M., Elia, L., Gritti, I., & Ferrari, F. (2024). Clinical effects of perineural dexmedetomidine or magnesium sulphate as adjuvants to ropivacaine in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy. *Research in Veterinary Science*, 177, 105355.
5. Bruniges, N., Taylor, P. M., & Yates, D. (2016). Injectable anaesthesia for adult cat and kitten castration: Effects of medetomidine, dexmedetomidine and atipamezole on recovery. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 18(11), 860–867.
6. Bufalari, A., Short, C. E., Giannoni, C., & Vainio, O. (1996). Comparative responses to propofol anaesthesia alone and with alpha (2)-adrenergic medications in a canine model. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 37(2), 187–201.
7. Carvalho, E. R., Champion, T., Vilani, R. G. D. C., Freitas, G. C., Ambrosini, F., Silvan, G. A., Gonçalves, K. S., & Fischborn, J. C. J. (2019). Sedative and electrocardiographic effects of low dose dexmedetomidine in healthy cats. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 39(2), 142–147.
8. Castro, I. F., & Vieira, M. P. (2024). Cardiovascular effects of the combined use of dexmedetomidine, ketamine, and methadone in a healthy dog - Electrocardiographic and

echocardiographic analysis: Case report. *Brazilian Journal of Hygiene and Animal Sanity*, 18(4), 6–7.

9. Chen, R., Sun, S., Li, Y., Dou, X., Dai, M., Wu, Y., & Lin, Y. (2022). Efficacy and safety evaluation of dexmedetomidine for postoperative patient controlled intravenous analgesia: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 1028704.
10. Cullen, L. K. (1996). Medetomidine sedation in dogs and cats: A review of its pharmacology, antagonism and dose. *British Veterinary Journal*, 152(5), 519–535.
11. Dart, C. M. (1999). Advantages and disadvantages of using alpha-2 agonists in veterinary practice. *Australian Veterinary Journal*, 77(11), 720–721.
12. Didier, C., Faucher, S., Sarra Ferrer, M., Lapouge, M., Junot, S., & Jourdan, G. (2024). Postoperative opioid-free analgesia in dogs undergoing tibial plateau leveling osteotomy: a feasibility study. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1394366.
13. Duke, T. (2013). Partial intravenous anesthesia in cats and dogs. *Canadian Veterinary Journal*, 54(3), 276–282.
14. Flaherty, D. (2013). Alpha2-adrenoceptor agonists in small animal practice 1. Why they do what they do. *In Practice*, 35(9), 524–530.
15. Gates, M. C., Littlewood, K. E., Kongara, K., Odom, T. F., & Sawicki, R. K. (2020). Cross-sectional survey of anaesthesia and analgesia protocols used to perform routine canine and feline ovariohysterectomies. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 47(1), 38–46.
16. González Gómez, F. (2005). Advances in the knowledge of the α_2 -adrenergic agonists action mechanisms in domestic animals: Clinical implications and future perspectives. In *World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings*. Madrid, Spain.
17. Granholm, M., McKusick, B. C., Westerholm, F. C., & Aspegren, J. C. (2006). Evaluation of the clinical efficacy and safety of dexmedetomidine or medetomidine in cats and their reversal with atipamezole. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 33(4), 214–223.
18. Greene, S. A. (1999). Pros and cons of using α_2 agonists in small animal anesthesia practice. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 29(3), 737–745.
19. Hämäläinen, M. M., & Pertovaara, A. (1995). The antinociceptive action of an alpha (2)-adrenoceptor agonist in the spinal dorsal horn is due to a direct spinal action and not to activation of descending inhibition. *Brain Research Bulletin*, 37(6), 581–587.
20. Hayashi, K., Nishimura, R., Yamaki, A., Kim, H. Y., Matsunaga, S., Sasaki, N., & Takeuchi, A. (1994). Comparison of sedative effects induced by medetomidine, medetomidine-midazolam and medetomidine-butorphanol in dogs. *Journal of Veterinary Medical Science*, 56(5), 951–956.
21. Henderson, A. R. P., & Tisotti, T. (2025). Dexmedetomidine constant-rate infusion with additional partial intravenous anesthesia for a dog undergoing partial pancreatectomy for an insulinoma. *Canadian Veterinary Journal*, 66(7), 728–733.
22. Hirata, K., Koyama, N., & Minami, T. (1995). The effects of clonidine and tizanidine on responses of nociceptive neurons in nucleus ventralis posterolateralis of the cat thalamus. *Anesthesia and Analgesia*, 81(2), 259–264.
23. Hoon, T. M., Pasloske, K., Farry, T., & Goodwin, W. A. (2026). Sedative and physiological effects of intramuscular alfaxalone 4% with butorphanol or dexmedetomidine in dogs - A randomized crossover study. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 53(3), 101174.
24. Joerger, F. B., Wieser, M. L., Steblaj, B., Niemann, L., Turunen, H., & Kutter, A. P. N. (2023). Evaluation of cardiovascular effects of intramuscular medetomidine and a

- medetomidine-vatinoxan combination in Beagle dogs: A randomized blinded crossover laboratory study. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 50(5), 397–407.
25. Jones, R. S. (2001). Epidural analgesia in the dog and cat. *The Veterinary Journal*, 161(2), 123–131.
 26. Kästner, S. B. R., Amon, T., Tünsmeier, J., Noll, M., Söbbeler, F. J., Laakso, S., Saloranta, L., & Huhtinen, M. (2024). Effects of tasipimidine premedication with and without methadone and dexmedetomidine on cardiovascular variables during propofol-isoflurane anaesthesia in Beagle dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 51(3), 253–265.
 27. Ko, J. C., Murillo, C., Weil, A. B., Kreuzer, M., & Moore, G. E. (2024). Dexmedetomidine sedation in dogs: Impact on electroencephalography, behavior, analgesia, and antagonism with atipamezole. *Veterinary Sciences*, 11(2), 74.
 28. Koura, M., Koliou, E., Kourmpeti, S., Kazakos, G., & Koura, M. (2025). Accidental coadministration of medetomidine, vatinoxan and ketamine in a cat. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 52(4), 503–506.
 29. Lee, S., Kim, M., Sung, T., Son, W. G., & Lee, I. (2026). Comparative efficacy of opioid-free and opioid-sparing anesthesia in dogs undergoing dental procedures: A prospective study of perioperative analgesia and hemodynamic stability. *Journal of Veterinary Dentistry*, 43(4), 290–299.
 30. Lemke, K. A. (2004). Perioperative use of selective alpha-2 agonists and antagonists in small animals. *Canadian Veterinary Journal*, 45(6), 475–480.
 31. Lima, D. A. S. D., Souza, A. P., Santana, V. L., Araújo, A. L., Lima, W. C., Mendes, R. S., & Nóbrega Neto, P. I. (2011). Epidural anesthesia with lidocaine and association medetomidine in cats pre-medicated with acepromazine and midazolam. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63(2), 308–316.
 32. Mathis, J., Schilling, E., & Lobprise, H. (2024). Oral and dental pain management. *Journal of Veterinary Dentistry*, 42(1), 10–23.
 33. Mckenzie, S. R., Chiavaccini, L., Moura, R. A., & Santoro, D. (2024). Comparison between dexmedetomidine and a combination of medetomidine-vatinoxan on muscle tissue saturation in privately-owned adult dogs undergoing intradermal testing. *Research in Veterinary Science*, 171, 105207.
 34. Murrell, J. C., & Hellebrekers, L. J. (2005). Medetomidine and dexmedetomidine: A review of cardiovascular effects and antinociceptive properties in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 32(3), 117–127.
 35. Odette, O., & Smith, L. J. (2013). A comparison of epidural analgesia provided by bupivacaine alone, bupivacaine plus morphine, or bupivacaine plus dexmedetomidine for pelvic orthopedic surgery in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 40(5), 527–536.
 36. Okur, D. T., Çiplak, A. Y., Aydin, S., Okur, S., Bedir, A. G., Orhun, Ö. T., Elban, S., & Tohumcu, V. (2024). Comparison of intra and postoperative analgesia efficacy of intraperitoneal levobupivacaine alone or in combination with dexmedetomidine in cats undergoing ovariohysterectomy; A randomized, prospective, blinded, clinical trial. *Research in Veterinary Science*, 180, 105442.
 37. Paddleford, R. R., & Harvey, R. C. (1999). Alpha 2 agonists and antagonists. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 29(3), 737–745.
 38. Pascal, M., Allison, A., & Kaartinen, J. (2020). Opioid-sparing effect of a medetomidine constant rate infusion during thoraco-lumbar hemilaminectomy in dogs administered a ketamine infusion. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 47(1), 61–69.

39. Pieper, K. (2016). Perioperative pain therapy in dogs and cats—an overview. *Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere/Heimtiere*, 44(03), 200-208.
40. Polati, E., Finco, G., Bartoloni, A., Rigo, V., Gottin, L., Pinaroli, A. M., & Barzoi, G. (1997). Treatment of postoperative pain by balanced spinal analgesia. *Minerva Anestesiologica*, 63(4), 123–131.
41. Raszplewicz, J., MacFarlane, P., & West, E. (2013). Comparison of sedation scores and propofol induction doses in dogs after intramuscular premedication with butorphanol and either dexmedetomidine or medetomidine. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 40(6), 584–589.
42. Rector, E., Kramer, S., Kietzmann, M., Hart, S., & Nolte, I. (1998). Evaluation of the antinociceptive effect of xylazine after systemic or lumbosacral injection in dogs anesthetized with isoflurane and the effect of atipamezole injection on postoperative analgesia. *Berliner Und Munchener Tierärztliche Wochenschrift*, 111(11-12), 438-451.
43. Sandbaumhüter, F. A., Theurillat, R., & Thormann, W. (2015). Effects of medetomidine and its active enantiomer dexmedetomidine on N-demethylation of ketamine in canines determined in vitro using enantioselective capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, 36(21), 2703–2712.
44. Siao, K. T., Pypendop, B. H., Honkavaara, J., & Ilkiw, J. E. (2017). Hemodynamic effects of dexmedetomidine, with and without MK-467, following intramuscular administration in cats anesthetized with isoflurane. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 44(5), 1101–1115.
45. Siegenthaler, J., Pleyers, T., Raillard, M., Spadavecchia, C., & Levionnois, O. L. (2020). Effect of medetomidine, dexmedetomidine, and their reversal with atipamezole on the nociceptive withdrawal reflex in beagles. *Animals*, 10(7), 1240.
46. Taylor, P. M. (1999). Newer analgesics: Nonsteroid anti-inflammatory drugs, opioids, and combinations. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 29(3), 737–745.
47. Ter Bruggen, F. F. J. A., Stronks, D. L., & Huygen, F. J. P. M. (2019). Survey on sedation-analgesia regimens, in particular the use of dexmedetomidine, among Dutch implanters of spinal cord neurostimulators. *Scandinavian Journal of Pain*, 19(4), 823–827.
48. Thunpattranon, T., Niyom, S., Lekchareonsuk, C., Kasemsuwan, S., & Mama, K. (2025). Perioperative pain management in dogs and cats: Attitudes and practices among Thai veterinarians. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 52(1), 98–109.
49. Vähä-Vahe, T. (1989). Clinical evaluation of medetomidine, a novel sedative and analgesic drug for dogs and cats. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 30(3), 267–273.
50. Vainio, O., & Ojala, M. (1994). Medetomidine, an alpha (2)-agonist, alleviates postthoracotomy pain in dogs. *Laboratory Animals*, 28(4), 369–375.
51. Valverde, A. (2008). Epidural analgesia and anesthesia in dogs and cats. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 38(6), 1205–1230.
52. Yu, D. H., Shen, X., Lai, L., Chen, Y. J., Liu, K., & Shen, Q. H. (2023). Application of dexmedetomidine as an opioid substitute in opioid-free anesthesia: A systematic review and meta-analysis. *Pain Physician*, 26(6), E635–E649.

DIGITAL GATEKEEPERS: HOW AI CONTROLS JOB APPLICATIONS

M. Dhinesh kumar

Second year BSC.CS (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

NADAR MAHAJANA SANGAM S. VELLAICHAMY NADAR COLLEGE Nagamalai,
Madurai-625019, Tamilnadu, India

DR.S. SELVAM

HEAD & Assistant Professor

Department of Computer Science (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

NADAR MAHAJANA SANGAM S. VELLAICHAMY NADAR COLLEGE, Nagamalai,
Madurai-625019, Tamilnadu, India

Abstract

Artificial intelligence has rapidly transformed the modern hiring process, with many companies deploying automated screening tools to filter thousands of resumes within seconds. While these systems promise efficiency and objectivity, mounting evidence suggests they often perpetuate and even amplify the very biases they were designed to eliminate. This paper examines how AI-powered recruitment tools work, why they develop biased behaviours, notable real-world cases of algorithmic discrimination, and what ethical and regulatory measures are being proposed to address the problem.

Keywords

Algorithmic bias, artificial intelligence, hiring discrimination, Predictive Analytics machine learning, fairness in AI

[1] Introduction

This paper asks a deceptively simple question: Is your resume being rejected by a biased bot? Through an examination of how AI recruitment tool function, the mechanisms behind algorithmic bias, documented cases of discriminatory outcomes, and emerging regulatory responses, this paper argues that AI hiring systems pose a serious and underappreciated threat to employment equity. According to a 2023 report by the Society for Human Resource Management (SHRM), over 70% of large employers in the United States use some form of automated screening technology.

[2] How AI Hiring Tools Work

2.1 Resume Screening Systems

The most common AI application in recruitment is automated resume screening. Candidates submit applications through online portals, and software parses the text to extract information such as education, skills, years of experience, and previous employers. The system then scores each resume against a job description and ranks candidates accordingly.

These tools use techniques such as keyword matching, natural language processing (NLP), and machine learning classifiers trained on past hiring decisions. A classifier might learn that candidates previously hired by the company tended to have attended certain universities or listed specific technical skills, and it will use those patterns to score future applicants.

2.2 Video Interview Analysis

A more recent development is AI-powered video interviewing, where candidates record answers to questions and software analyses facial expressions, tone of voice, word choice, and eye movement to score candidates on traits like "enthusiasm" or "confidence." Companies such as Hire Vue have promoted these tools as objective assessments of job fit.

2.3 Predictive Analytics

Some systems go further, using predictive analytics to forecast a candidate's likelihood of success, retention rate, or cultural fit. These models draw on wide datasets, including social media activity, geographic data, and cognitive assessment results.

[3] Understanding Algorithmic Bias

3.1 What Is Algorithmic Bias?

Algorithmic bias refers to systematic and repeatable errors produced by an AI system that create unfair outcomes for particular groups. It is not necessarily intentional — it often emerges invisibly from the data the system was trained on or the way the problem was framed.

3.2 Sources of Bias in Recruitment AI

Historical Data Bias: If a company's past hires were predominantly white men, an AI trained on that data learns to favour profiles that resemble white men. The system is not racist by design — it is racist by imitation.

Proxy Discrimination: Even when protected attributes like race or gender are excluded from the model, other variables can serve as proxies. A candidate's zip code can correlate with race; the name of a university attended can correlate with socioeconomic background; a gap in employment history can correlate with gender (due to maternity leave patterns).

Feedback Loop Bias: If biased decisions made by humans in the past are used to evaluate AI performance, the system's biased behaviour will be reinforced over time rather than corrected.

Measurement Bias: Some qualities that AI attempts to measure — such as "leadership potential" or "cultural fit" — are inherently subjective and can encode the preferences of whoever designed the evaluation criteria.

[4] Documented Cases of Algorithmic Discrimination

4.1 Amazon's Internal AI Tool

One of the most widely cited examples of AI hiring bias is Amazon's experimental machine learning tool, developed internally and later abandoned in 2018. The tool was trained on resumes submitted to the company over a 10-year period. Since the tech industry had been historically male-dominated, the majority of resumes in the training data were from men. The system learned to penalize resumes that contained the word "women's" — as in "women's chess club" — and downgraded graduates of all-women's colleges. Amazon discontinued the project after discovering these patterns could not be reliably corrected.

4.2 Hire Vue and Facial Analysis

Hire Vue's video analysis tool faced criticism from academics and civil liberties organizations for using facial expression and voice analysis to evaluate candidates. Researchers raised concerns that such analysis could disadvantage candidates with disabilities, non-native English speakers, and individuals from cultural backgrounds where eye contact norms differ. In 2021, Hire Vue announced it was removing facial analysis from its tools following public pressure, though its other automated scoring methods remain in use.

4.3 Racial Bias in Background Check Algorithms

A 2019 study by the University of Michigan found that automated background check tools used in hiring decisions were significantly more likely to flag Black applicants as risks compared to white applicants with equivalent records, due to disparities in underlying criminal justice data.

[5] Ethical Implications

5.1 Fairness and Equal Opportunity

Employment is not merely an economic transaction — it shapes life outcomes, access to healthcare, housing, and social mobility. When AI systems systematically disadvantage certain groups, they violate foundational principles of equal opportunity and merit-based hiring.

5.2 Lack of Transparency

Most commercial AI hiring tools are proprietary, meaning the criteria they use to score candidates are not disclosed to applicants or employers. A rejected candidate has no way of knowing whether they were evaluated fairly. This opacity makes it nearly impossible to detect or challenge discriminatory outcomes.

5.3 Automation Bias

There is a documented tendency for humans to over-trust automated systems — a phenomenon known as automation bias. When a recruiter sees a list of AI-ranked candidates, they are less likely to question the rankings, effectively delegating the hiring decision to an algorithm they do not fully understand.

[6] Regulatory and Industry Responses

6.1 New York City Local Law 144

In 2023, New York City became the first jurisdiction in the United States to regulate AI hiring tools, requiring employers to conduct bias audits of automated employment decision tools and disclose their use to candidates. This law represents an important step, though critics argue it lacks sufficient enforcement mechanisms.

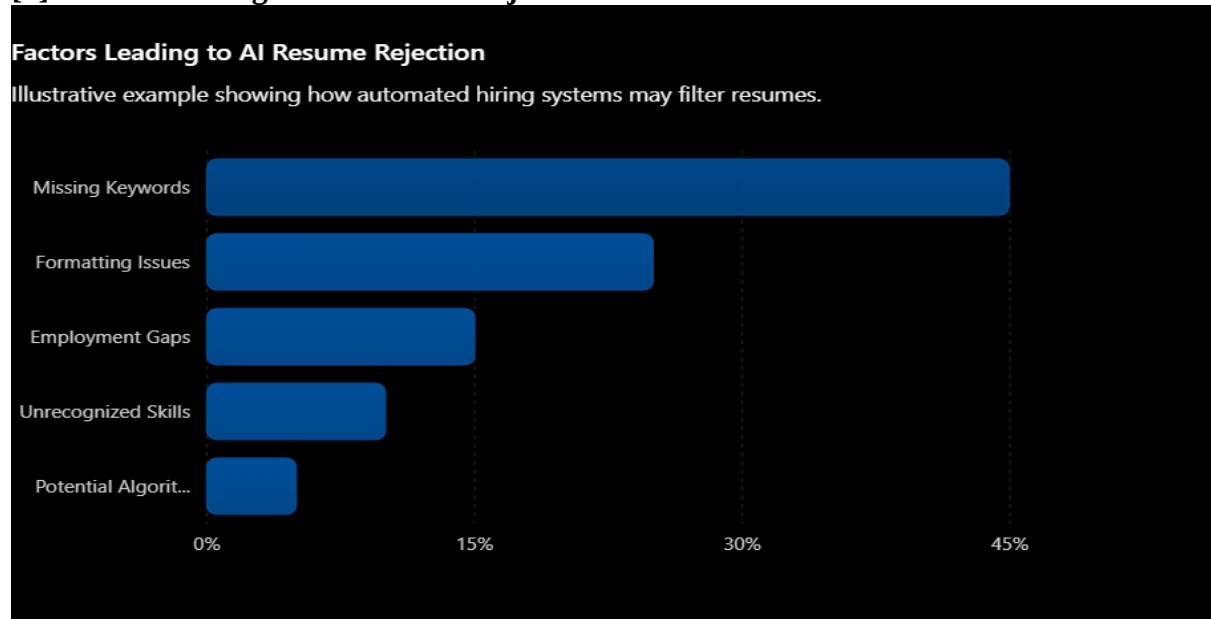
6.2 EU AI Act

The European Union's Artificial Intelligence Act, adopted in 2024, classifies AI systems used in employment as "high risk" and requires them to meet strict transparency, accuracy, and human oversight standards before deployment. This is among the most comprehensive regulatory frameworks for AI hiring tools globally.

6.3 Industry Self-Regulation

Some technology companies have begun developing internal fairness toolkits and publishing model cards that describe the limitations and potential biases of their AI systems. However, self-regulation alone has been widely criticized as insufficient given the commercial incentives involved.

[7] Factor Leading to AI Resume Rejection



[8] Proposed Solutions

8.1 Diverse Training Data

One technical approach is to ensure that training datasets are representative of the full population of qualified candidates, not just historical hires. This requires deliberate data collection and curation efforts.

8.2 Algorithmic Auditing

Independent third-party audits of AI hiring tools — testing them against diverse candidate profiles to detect discriminatory patterns — are increasingly recommended by researchers and regulators.

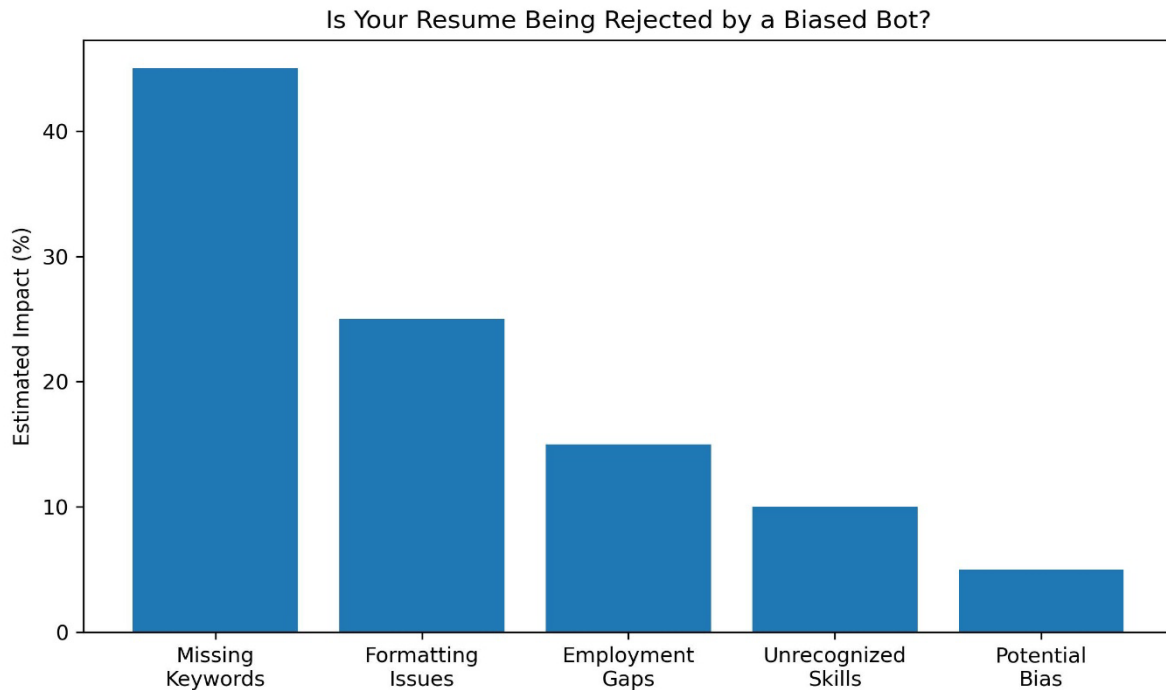
8.3 Human Oversight

AI systems should be used to assist human decision-makers, not replace them. Ensuring that a trained human reviewer makes the final hiring decision provides a critical check on automated errors.

8.4 Candidate Transparency

Applicants should have the right to know when AI was used to evaluate them, what criteria were applied, and how to appeal an automated rejection. This mirrors consumer rights in areas like credit scoring.

[9] Is Your Resume Being Rejected by a biased Bot?



[10] Conclusion

Addressing this problem requires action on multiple fronts: technical improvements to training data and model design, regulatory frameworks that mandate transparency and accountability, and cultural change within organizations that encourages scepticism of automated outputs. The question posed in this paper's title — "Is your resume being rejected by a biased bot?" — may not have a simple answer. But the evidence strongly suggests that for many candidates, particularly those from underrepresented groups, the honest answer is yes.

References

1. Dastin, J. (2018). Insight — Amazon's machine learning specialists uncovered the problem with its AI tool. Reuters Technology.
2. European Parliament. (2024). EU Artificial Intelligence Act. Official Journal of the European Union.
3. Hire Vue. (2021). Hire Vue removes facial analysis from its hiring assessment tools. Hire Vue Official Blog.
4. New York City Council. (2021). Local Law 144 of 2021: Automated employment decision tools. New York City Government.
5. Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366 (6464), 447–453.
6. Society for Human Resource Management. (2023). AI in hiring: A national survey of employers. SHRM Research.
7. Raghavan, M., Barocas, S., Kleinberg, J., & Levy, K. (2020). Mitigating bias in algorithmic hiring: Evaluating claims and practices. *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*.

CYBERSECURITY IN AN INTERCONNECTED WORLD

S. DHARANI

Second year B.SC. Computer Science (Artificial Intelligence)
Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam
S. Vellaichamy Nadar College
Nagamalai Madurai-19 Tamilnadu India

DR. S. SELVAM

Head and Assistant Professor
Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam
S. Vellaichamy Nadar College
Nagamalai Madurai-19 Tamilnadu India

ABSTRACT

In today's highly interconnected world, cybersecurity has become a critical concern for individuals, organizations, and governments. The rapid growth of digital technologies, cloud computing, artificial intelligence, and the Internet of Things has created new opportunities for communication and innovation, but it has also increased exposure to cyber threats. Cyberattacks such as data breaches, ransomware, phishing, and identity theft can disrupt businesses, compromise sensitive information, and threaten national security. As networks become more integrated, the impact of a single vulnerability can spread across multiple systems and regions. This abstract highlights the importance of adopting strong cybersecurity measures, including encryption, multi-factor authentication, regular system updates, and user awareness programs. It also emphasizes the need for international cooperation, legal frameworks, and ethical practices to address evolving cyber risks. Ensuring cybersecurity in an interconnected environment is essential for maintaining trust, privacy, and the stability of the global digital ecosystem.

KEYWORDS

Cyber Resilience, Ethical Hacking, Malware Detection, Encryption Techniques, Multi-Factor Authentication, Secure Communication, Digital Infrastructure, Cyber Risk Management, Information Assurance, Online Privacy, Security Awareness, Cybercrime Prevention, Network Security, Endpoint Protection, Firewall Systems, Intrusion Detection, Secure Data Storage, Cyber Law, Digital Forensics, Threat Intelligence, Zero Trust Security, Identity Management, Secure Access Control, Critical Infrastructure Protection, Security Compliance, Vulnerability Assessment, Cyber Governance, Internet Security, Secure Transactions, Data Encryption.

[1] INTRODUCTION

Cybersecurity plays a vital role in protecting digital systems, networks, and data in an increasingly interconnected world. With the rapid advancement of technologies such as cloud computing, artificial intelligence, big data, and the Internet of Things (IoT), people and organizations rely heavily on digital platforms for communication, business, education, healthcare, and financial services. While these technologies improve efficiency and

connectivity, they also create new opportunities for cybercriminals to exploit vulnerabilities and gain unauthorized access to sensitive information.

Cyber threats have become more sophisticated and widespread in recent years. Attacks such as hacking, phishing, ransomware, malware infections, and data breaches can cause financial losses, damage reputations, and disrupt essential services. Governments, industries, and individuals are therefore focusing on developing stronger security systems to protect confidential information and maintain the reliability of digital infrastructure.

In an interconnected environment, cybersecurity is not only a technical issue but also a social, economic, and legal challenge. Effective cybersecurity requires a combination of advanced technologies, skilled professionals, user awareness, and international cooperation. Organizations must adopt preventive measures such as encryption, firewalls, regular software updates, and security training programs to reduce risks and strengthen cyber resilience.

[2] EVOLUTION OF DIGITAL CONNECTIVITY

Digital connectivity has transformed the way people communicate, work, learn, and access information. In the early stages, communication depended on wired telephones and limited computer networks. The development of the internet during the late twentieth century marked a major turning point, enabling computers across the world to exchange data rapidly. Email, websites, and online communication gradually became part of everyday life. The introduction of broadband technology significantly improved internet speed and reliability. Faster connections allowed users to share large files, stream media, and participate in real-time communication. At the same time, wireless technologies such as Wi-Fi and mobile networks expanded internet access beyond homes and offices, making connectivity more flexible and convenient.

The rise of smartphones and mobile applications further accelerated digital connectivity. People gained continuous access to social media, online banking, digital education, healthcare services, and e-commerce platforms directly from handheld devices. Cloud computing also changed data storage and collaboration by allowing users to access information and software remotely from any connected location.

In recent years, advanced technologies such as 5G, the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and satellite communication systems have strengthened global connectivity. Smart devices can now communicate automatically, supporting innovations in transportation, healthcare, agriculture, and smart cities. These developments have improved efficiency and created new opportunities for economic and social growth.

[3] IMPORTANCE OF CYBERSECURITY IN MODERN SOCIETY

1. Protection of Sensitive Information: Cybersecurity protects personal, financial, medical, and organizational data from unauthorized access and theft.

2. Prevention of Financial Loss: It helps reduce financial damage caused by hacking, online fraud, and cyberattacks.

3. Security of Critical Infrastructure: Cybersecurity safeguards important sectors such as healthcare, banking, transportation, and energy systems.

4. Protection Against Identity Theft: It prevents cybercriminals from stealing personal identities and misusing private information.

5. Safe Online Transactions: Cybersecurity ensures secure digital payments, online shopping, and internet banking services.

6. Maintaining Business Reputation: Strong security systems help organizations maintain customer trust and avoid reputational damage.

7. Defense Against Cyber Threats: It protects systems from malware, ransomware, phishing, and other harmful cyber activities.

8. Support for Remote Work and Cloud Services: Cybersecurity enables secure communication and data access for remote employees and cloud users.

9. Ensuring Data Privacy and Integrity: It helps maintain the accuracy, confidentiality, and availability of digital information.

10. Promoting Cyber Awareness: Cybersecurity education encourages safe and responsible use of technology and the internet.

[4] TYPES OF CYBER THREATS AND ATTACKS

S.NO	Cyber threat	Description
1.	Malware	Harmful software attack
2.	Phishing	Fake messages to steal data
3.	Ransomware	Files locked for money
4.	DoS Attack	System traffic overload
5.	DDoS Attack	Multiple-device traffic attack
6.	MITM Attack	Intercepting communication
7.	SQL Injection	Database hacking attack
8.	Spyware	Secret data monitoring
9.	Botnet Attack	Network of infected devices

[5] ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY

Artificial Intelligence (AI) has become an important technology in modern cybersecurity. It helps organizations detect, prevent, and respond to cyber threats more efficiently than traditional security methods. As cyberattacks become more advanced and complex, AI provides faster and smarter solutions to protect digital systems and sensitive information.

AI systems can analyze large amounts of data in real time to identify unusual activities or suspicious behavior. Machine learning algorithms learn from previous cyber incidents and

improve their ability to recognize threats such as malware, phishing attempts, and unauthorized access. This allows security systems to respond quickly and reduce potential damage.

One major advantage of AI in cybersecurity is automation. AI-powered tools can automatically monitor networks, detect vulnerabilities, and respond to attacks without constant human involvement. This reduces workload for cybersecurity professionals and improves the speed of threat detection and recovery.

AI is also used in fraud detection, biometric authentication, spam filtering, and intrusion prevention systems. In banking and online services, AI helps identify suspicious transactions and prevents financial fraud. Facial recognition, fingerprint scanning, and behavioral analysis are examples of AI-based security methods used to improve user authentication.

[6] CYBERSECURITY LAWS AND REGULATIONS

Cybersecurity laws and regulations are designed to protect digital information, computer systems, and online networks from cyber threats and unauthorized access. These laws help governments, businesses, and individuals maintain security, privacy, and trust in the digital environment. As technology and internet usage continue to grow, cybersecurity regulations have become increasingly important across the world.

One of the main purposes of cybersecurity laws is to protect sensitive data such as personal information, financial records, and confidential business details. Organizations are required to follow security standards and implement protective measures to prevent data breaches and cyberattacks. Failure to comply with these regulations may result in legal penalties, financial losses, or reputational damage.

Cybersecurity regulations also promote responsible handling of digital information. Many countries have introduced data protection laws that define how organizations collect, store, process, and share user data. These laws encourage transparency and give individuals greater control over their personal information.

In addition, cybersecurity laws help combat cybercrimes such as hacking, identity theft, online fraud, cyberbullying, and unauthorized system access. Governments and law enforcement agencies use these regulations to investigate cybercriminal activities and enforce digital security policies.

International cooperation is also important in cybersecurity because cyber threats often cross national borders. Countries work together to share information, strengthen security practices, and develop global cybersecurity frameworks to address emerging threats.

[7] ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Advantages	Disadvantages
Protects sensitive data	Expensive to implement
Reduces cybercrime	Complex regulations
Improves online safety	May affect privacy

Builds customer trust	Requires regular updates
Protects critical systems	Enforcement challenges
Encourages data privacy	Can slow innovation
Supports secure communication	Risk of misuse of regulations

[8] CONCLUSION

Cybersecurity has become an essential part of life in an interconnected world where digital technologies are used in communication, business, education, healthcare, and government services. As internet connectivity and smart technologies continue to expand, the risk of cyber threats and data breaches also increases. Strong cybersecurity practices help protect sensitive information, maintain privacy, and ensure the safe operation of digital systems. Technologies such as artificial intelligence, cloud computing, and advanced security tools are improving the ability to detect and prevent cyberattacks. At the same time, cybersecurity awareness, laws, and international cooperation remain important for creating a secure digital environment. Overall, effective cybersecurity is necessary for supporting trust, safety, and sustainable technological growth in modern society.

[9] REFERENCE

1. Alicia Clay Jones & Michael Hogan, Securely Connecting the World with Cyber Security Standards, 2004.
2. OECD, The Role of the 2002 Security Guidelines: Towards Cybersecurity for an Open and Interconnected Economy, 2012.
3. Anne Hobson, Aligning Cybersecurity Incentives in an Interconnected World, 2017.
4. Madeline Carr & Feja Lesniewska, Internet of Things, Cybersecurity and Governing Wicked Problems, 2020.
5. Tarun Chaudhary et al., Patchwork of Confusion: The Cybersecurity Coordination Problem, 2018.
6. National Academy of Sciences, Cybersecurity Dilemmas: Technology, Policy, and Incentives, 2015.
7. Xu Qian, Redefining International Law Paradigms: Cybersecurity, Trade, and Investment, 2024.
8. The Cybersecurity Mesh: A Comprehensive Survey of Artificial Intelligence Methods and Challenges, 2024.
9. World Economic Forum, Cyber Information Sharing: Building Collective Security, 2020.
10. Giacomo Assenza et al., Redefining Systemic Cybersecurity Risk in Interconnected Environments, 2024.

TRANSFORMING TEACHING: PROMOTING CRITICAL THINKING and CIVIC VALUES through ACTIVE LEARNING

Dr. Zenel Sina

“Aleksandër Moisiu” University, Durrës, Albania

Orcid Id: 0009-0009-7333-1621

Dr. Adriana Qafa

“Barleti” University, Tiranë, Albania

Orcid Id: 0009-0006-1783-4249

Abstract

As education systems face evolving societal and global challenges, there is a growing need to equip learners not only with subject-specific knowledge, but also with transversal competencies such as critical thinking, ethical reasoning, and civic awareness. Traditional pedagogical approaches, which prioritize content delivery and memorization, often fall short in preparing students to engage thoughtfully and responsibly in complex social contexts. This presentation examines the potential of active learning to enhance both cognitive skills and civic dispositions. The study draws on learner-centered educational theories to explore how instructional practices such as collaborative work, structured discussions, inquiry-based activities, and real-world problem solving can contribute to the development of students’ analytical thinking and social engagement. These approaches aim to support learners in constructing their own understanding while interacting with diverse perspectives and societal issues.

Combining theoretical insights with classroom-based observations, the presentation highlights how active learning can promote deeper comprehension, learner autonomy, and a sense of civic responsibility. Particular attention is given to the changing role of the teacher—from knowledge transmitter to facilitator of learning processes that encourage participation, dialogue, and reflection.

The findings suggest that integrating active learning into teaching practice requires not only methodological adjustments but also a broader rethinking of educational goals. The presentation concludes with practical recommendations for educators and policymakers, emphasizing the relevance of active learning across disciplines and educational levels.

Keywords: active learning, critical thinking, civic education, learner-centered pedagogy,

CONTRIBUTION OF HYGIENE AND SANITATION TO THE QUALITY OF HOTEL SERVICES FOR THE DEVELOPMENT OF TOURISM IN BENIN: THE CASE OF MIRACLE HOTEL, DASSA-ZOUME

Dr. Jean-Roitinos AISSI

Geography and Environmental Management Laboratory of Biogeography and Environmental
Expertise (LABEE), University of Abomey-Calavi (UAC), Benin ; 00229

This study examines the contribution of hygiene and sanitation to the quality of hotel services and tourism development in Benin, with particular reference to Miracle Hotel in Dassa-Zoumé. As tourism increasingly becomes a strategic sector for national economic growth, ensuring high standards of hygiene in accommodation establishments has become essential for improving customer satisfaction, protecting public health, and strengthening destination competitiveness. The research adopted a descriptive and analytical design based on a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative techniques. Data were collected through documentary research, direct field observations, structured and semi-structured interviews, and questionnaire surveys. A purposive convenience sampling technique was used to select 120 respondents, comprising 80 hotel guests and 40 hotel employees, including receptionists, restaurant staff, housekeeping personnel, supervisors, and managers. Quantitative data were processed using Microsoft Excel 2016, while qualitative data were transcribed, coded, and analyzed through thematic content analysis. In addition, a SWOT analysis was conducted to assess the strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with hygiene and sanitation management at Miracle Hotel.

The findings reveal that multi-purpose detergents (94%) and bleach-based disinfectants (82%) are the most frequently used cleaning products, whereas environmentally friendly products are used by only 18% of the surveyed establishments. The study also found that 61% of housekeeping employees reported health-related side effects associated with cleaning products, highlighting the need to improve occupational health and safety measures. Furthermore, the use of inappropriate cleaning products was found to negatively affect hotel image and customer satisfaction through persistent unpleasant odors, visible stains, and poor perceptions of cleanliness. Respondents identified regular staff training, product standardization, clear labeling of cleaning chemicals, and routine quality control as the most effective strategies for improving housekeeping performance.

Key words : Hygiene, Sanitation, Hotel Service Quality, Housekeeping, Cleaning Products, Sustainable Tourism, Benin.

Introduction

Tourism has become a strategic sector in Benin's economic development policies, as the country seeks to diversify its economy, promote its cultural heritage, and strengthen its position as an attractive destination in West Africa. In recent years, the Beninese government has implemented several reforms aimed at improving tourism infrastructure, regulating tourism activities, promoting cultural sites, and enhancing the quality of services offered to visitors. These initiatives reflect the ambition to make tourism a major driver of economic growth, employment creation, and international visibility for Benin.

The development of tourism in Benin increasingly depends not only on the attractiveness of natural and cultural resources but also on the quality of the hospitality services available to visitors. Accommodation facilities, particularly hotels, play a central role in the tourism value chain by providing lodging, catering, and complementary services that influence tourists' experiences and perceptions of destinations. According to tourism development indicators, improving service quality remains a major challenge for emerging destinations seeking to increase competitiveness and ensure sustainable tourism growth.

Within this framework, hygiene and sanitation constitute essential components of hotel service quality. Beyond basic cleanliness requirements, they contribute to customer satisfaction, health protection, and the reputation of hospitality establishments. The World Health Organization (WHO, 2020) emphasizes that accommodation facilities must implement effective hygiene measures, including sanitation control, waste management, and cleaning procedures, to reduce health risks and protect users.

Recent studies confirm that hygiene has become a decisive factor in tourists' evaluation of hotel services. Yousaf and Kim (2023, pp. 264–271) demonstrate that hygiene-related practices strongly influence travellers' perceptions of safety and their willingness to revisit hospitality establishments. Similarly, Yang, Lin, and Magnini (2024, pp. 239–258) highlight that hotel cleanliness significantly affects guest satisfaction, online reputation, and overall performance. Furthermore, sustainable hygiene practices, such as rational water consumption, responsible waste management, and environmental maintenance, contribute to the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 3 (Good Health and Well-being), SDG 6 (Clean Water and Sanitation), SDG 8 (Decent Work and Economic Growth), and SDG 12 (Responsible Consumption and Production).

In Bohicon, one of Benin's major commercial centres and an important transport crossroads, the hospitality sector is experiencing gradual growth due to increasing movements of business travellers, tourists, and other visitors. Among the accommodation facilities operating in the city, Miracle Hotel occupies an important position by offering accommodation and related services to various categories of customers. However, like many hotels in developing countries, the establishment faces challenges related to maintaining optimal hygiene and sanitation standards, particularly in a context of increasing customer expectations and sustainable tourism requirements.

Therefore, this study aims to analyse hygiene and sanitation practices at Miracle Hotel in Bohicon, assess their contribution to hotel service quality, and determine their implications for tourism development in Benin.

The main research question is:

How do hygiene and sanitation practices implemented at Miracle Hotel in Bohicon contribute to improving hotel service quality and supporting tourism development in Benin ?

The overall objective of this research is to evaluate hygiene and sanitation management practices within the hotel and propose strategies for improving service quality and promoting sustainable tourism development. The methodology combines direct observation, questionnaire surveys, interviews, and documentary analysis..

1- Presentation of the Study Area

The Marian Grotto of Dassa-Zoumé, located in the Collines Department, approximately 209 km from Cotonou, constitutes the main pilgrimage site. Its immediate surroundings, including accommodation facilities, public spaces, traffic routes, and temporary commercial areas, have been fully integrated into the study area.

The municipality is characterized by a highly rugged relief composed of a series of bare hills with various shapes, with an average elevation difference of about 200 m. Its highest point (465 m) is located in the village of Tangbé, on the granitic mountain chain. The town is located between 7°45'00" North latitude and 2°11'00" East longitude. Figure 1 below presents the geographical location of the study area.

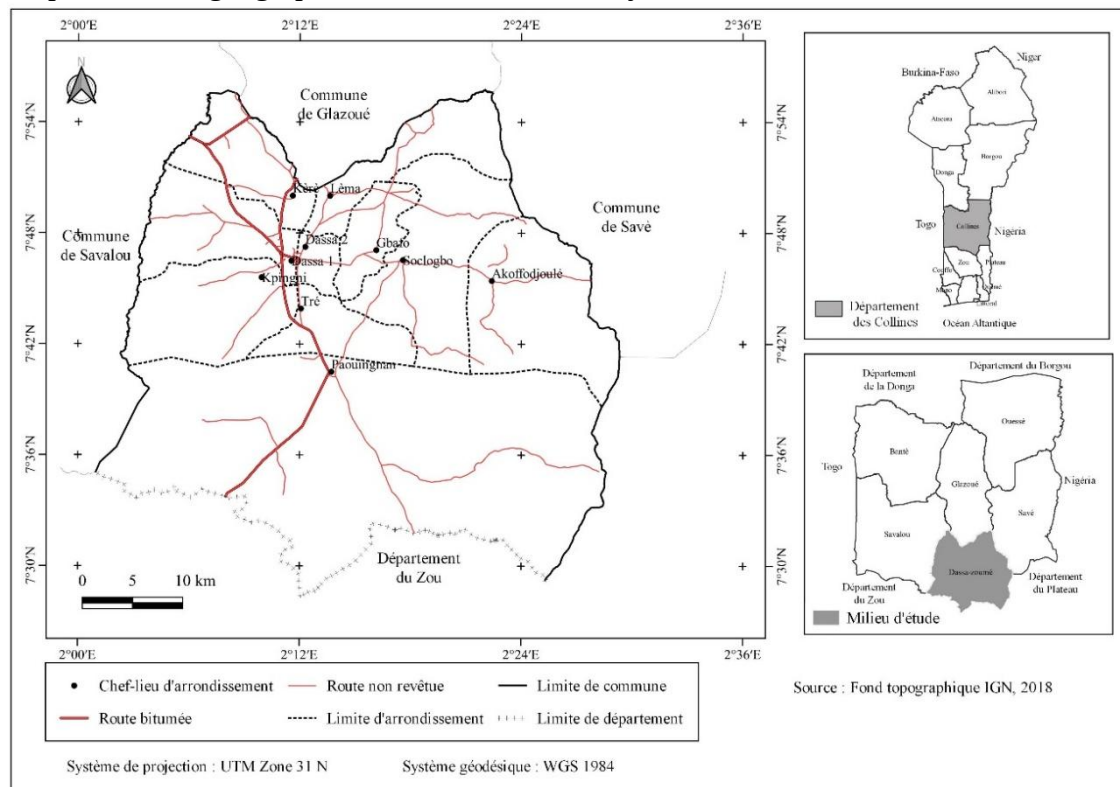


Figure 1: *Geographical Setting of the City of Dassa-Zoumé*

2. Research Methodology

2.1. Type of Study and Methodological Approach

This study is descriptive and analytical in nature, using a mixed-methods approach combining qualitative and quantitative approaches, in accordance with Leclerc (2020, p. 88). It aims to provide an in-depth understanding of the phenomena investigated and to develop operational recommendations for improving hygiene and sanitation practices within the hotel establishment.

2.2. Methodological Approach

The methodological approach adopted in this research consists of three main stages: data collection, data processing and analysis, followed by interpretation of the results.

2.2.1. Data Collected

The data collected for this study include both material and non-material information. They relate to the study site as well as external resources necessary for understanding the research topic. Data were collected from hotel management staff, operational personnel, and mainly from customers. These data contributed to a comprehensive understanding of hygiene and sanitation practices within the study area.

2.2.2. Data Collection Tools

Questionnaire survey: used to collect direct information from hotel staff members and selected customers;

Observation checklist: used during direct field observations to assess hygiene and sanitation conditions in guest rooms, kitchens, sanitary facilities, and common areas;

Digital camera: used to document field observations through photographic records.

2.2.3. Data Collection Techniques

Various data collection techniques were employed, including:

Documentary research, which involved reviewing scientific literature, institutional reports, and relevant documents related to hotel hygiene and sanitation management;

Direct observation, which enabled the assessment of specific aspects related to the research objectives. This included observing the condition of the hotel facilities and recording observations using a structured checklist;

Questionnaire administration, which allowed the collection of information from hotel staff and some customers regarding challenges associated with hygiene and sanitation management;

Interviews with key stakeholders, including hotel employees and customers, using carefully designed interview guides. This technique allowed participants to freely express their opinions and provided detailed information on the issues investigated.

2.2.4. Field Surveys

During the exploratory phase, data were collected through direct observation and semi-structured and structured interviews with professionals involved in the hospitality sector, including hotel managers and specialists in hotel management.

The sample size varied according to the type of information required and the location of the interviews. This approach enabled the researcher to gain a better understanding of field realities and to identify the hygiene and sanitation management practices implemented within the case study establishment.

This exploratory phase was followed by an in-depth investigation phase during which observation techniques, structured interviews, and semi-structured interviews were conducted.

2.2.5. Sampling Procedure

A non-probability purposive sampling method was adopted. Participants were selected based on their ability to provide relevant information regarding hygiene and sanitation practices within the hotel. The targeted participants included cleaning staff, department managers, and regular customers.

The study population consisted of two target groups : **hotel guests (tourists)** and **employees of Hotel** who are directly involved in customer service delivery.

A total sample of **120 respondents** was selected through a non-probability convenience sampling technique because of the accessibility and availability of participants during the survey period. The sample comprised:

- **80 tourists**, selected among guests staying at the hotel during the data collection period;
- **40 hotel employees**, including receptionists, customer service officers, restaurant personnel, housekeeping staff, supervisors, and managers.

Only guests who had stayed at least one night at the hotel and staff members with a minimum of six months of professional experience were included in the study.

2.2.6. Data Processing Methods

This phase involved data organization, coding, and processing.

Regarding interviews, all collected statements were transcribed, classified, and synthesized after removing information considered irrelevant or outdated. This process transformed the qualitative information collected from stakeholders into structured data, allowing the identification of major themes related to the research objectives.

The information collected was systematically transcribed and categorized according to the objectives of the study.

Quantitative data obtained from questionnaires were processed using statistical methods. Data processing and visualization were performed using Microsoft Excel 2016 for tables and graphs, while Microsoft Word 2016 was used for text processing and report preparation.

2.2.7. Data Analysis Method

According to Grawitz (2000), concepts contribute to understanding and explaining reality. Therefore, in order to understand the research subject, a conceptual framework was developed to analyze the management of hygiene and sanitation within Miracle Hotel.

This framework was based on the identification of stakeholders, available resources, and the management mechanisms implemented by these stakeholders.

The SWOT analysis model was applied to evaluate the internal and external factors influencing hygiene and sanitation management practices. This analytical tool helped identify strategic options and assess the strengths and weaknesses of the hotel, as well as external opportunities and threats.

SWOT analysis, translated into French as FFOM (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces), distinguishes:

Strengths and Weaknesses: internal factors;

Opportunities and Threats: external factors.

The structure of the SWOT analysis applied to hygiene and sanitation management at Miracle Hotel is presented in Table 2.

Table 2: SWOT Analysis Model Applied to Hygiene and Sanitation Management at Miracle

SWOT Factors	Description
	- Presence of motivated and sometimes experienced cleaning staff despite limited resources.
Strengths	- Occasional use of local cleaning solutions (liquid soap, Omo Viva detergent, traditional bleach, and other products) that are effective and affordable.
	- Existence of minimum cleanliness standards occasionally required by local tourism institutions.
	- Lack of specific training in hotel hygiene management (hygiene protocols, sanitary standards, HACCP principles).
Weaknesses	- Irregular access to disinfectant products and hygiene supplies.
	- Limited financial resources allocated to hygiene management.
	- Growth of responsible tourism that promotes environmentally friendly and health-conscious hotels.
Opportunities	- Potential support from non-governmental organizations, development partners, and international cooperation agencies (e.g., GIZ, USAID) for sanitation improvement projects.
Threats	- Local or global health crises (e.g., cholera outbreaks, COVID-19 pandemic) exposing weaknesses in sanitation management systems.

SWOT Factors

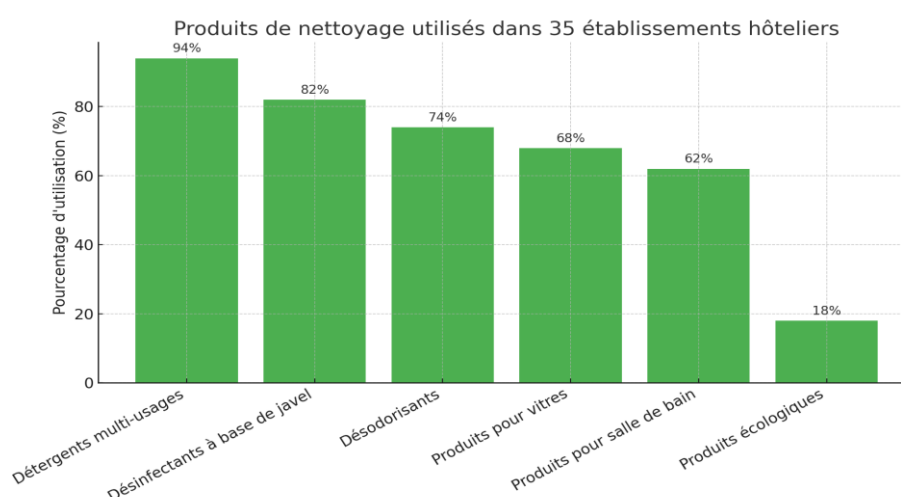
Description

- Climate change increasing risks related to flooding, mosquito proliferation, cockroach infestation, and waterborne diseases.
- Weaknesses or lack of effectiveness in public health inspection and regulatory control.

Résultats

3.1. Produits de nettoyage les plus couramment utilisés dans les hôtels

To assess hygiene and sanitation practices in the surveyed hotels, respondents were asked about the main cleaning products used in their establishments. The figure below presents the frequency of use of the different categories of cleaning products across the 35 hotels included in the study.



The figure 2 shows that multi-purpose detergents are the most commonly used cleaning products, with a usage rate of 94%, highlighting their essential role in daily cleaning operations. They are followed by bleach-based disinfectants, used by 82% of the hotels, reflecting a strong commitment to surface disinfection and compliance with hygiene standards.

Air fresheners rank third, with a usage rate of 74%, indicating the importance hotels place on maintaining a pleasant atmosphere and ensuring guests' comfort. Glass cleaning products (68%) and bathroom cleaning products (62%) are also widely used, although their use is less systematic than that of general-purpose cleaning products.

In contrast, eco-friendly cleaning products are used by only 18% of the establishments, indicating a low level of adoption of environmentally sustainable cleaning solutions. This limited use may be attributed to their relatively higher cost, limited availability in the local market, or insufficient awareness among hotel managers regarding sustainable environmental practices.

Overall, these findings indicate that the surveyed hotels primarily rely on conventional cleaning products, particularly those recognized for their effectiveness in cleaning and disinfection, while environmentally friendly alternatives remain only marginally integrated into routine housekeeping practices.

3.2. Effects of the Use of Inappropriate Cleaning Products on Hygiene and the Health of Guests and Housekeeping Staff

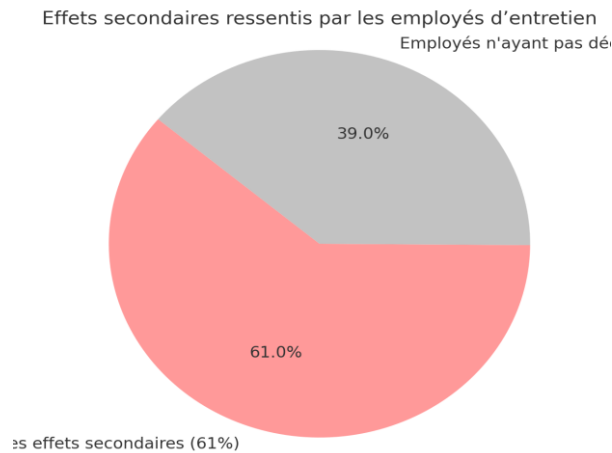


Figure 3 : Housekeeping Employees Who Reported or Did Not Report Side Effects Associated with the Use of Certain Cleaning Products

The figure shows that 61% of housekeeping employees experienced side effects related to the use of cleaning products, whereas 39% reported no adverse effects. These results indicate that a majority of employees are exposed to occupational health risks associated with cleaning chemicals. The reported side effects may be due to frequent chemical exposure, inadequate protective equipment, or poor ventilation during cleaning activities. This finding highlights the need to strengthen occupational health and safety measures in hotel establishments. Promoting the safe use of cleaning products and providing adequate personal protective equipment could significantly reduce these health risks.

3.3. Impact of Unsuitable Cleaning Products on Hotel Reputation and Guest Satisfaction

The respondents were asked to identify the main negative effects of using inappropriate cleaning products on the cleanliness and overall image of the hotel. The figure 4 below presents the most frequently reported consequences as perceived by the surveyed hotel establishments.

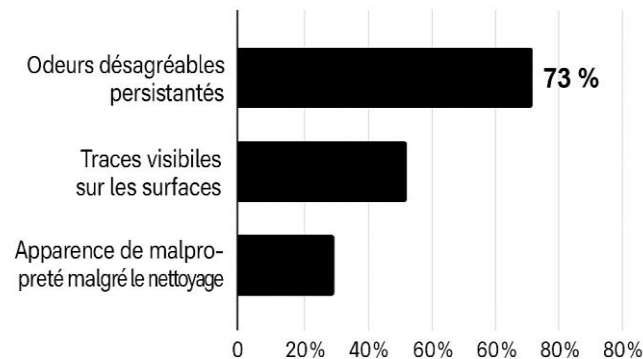


Figure 4 : Impact of Unsuitable Cleaning Products on Hotel Reputation and Guest Satisfaction

The figure shows that persistent unpleasant odors are the most frequently reported consequence, mentioned by 73% of the respondents. This finding indicates that inappropriate cleaning products often fail to eliminate odors effectively, thereby negatively affecting guests' comfort and perception of cleanliness. In addition, visible stains on surfaces were reported by approximately 50% of the respondents, suggesting inadequate cleaning performance. About 30% of the respondents also indicated that inappropriate products leave an appearance of uncleanliness despite cleaning, which can damage the hotel's professional image. Overall, these results demonstrate that the use of unsuitable cleaning products can significantly reduce service quality, undermine customer satisfaction, and adversely affect the hotel's reputation.

4. Strategies implemented to improve the use of appropriate products for cleaning hotel rooms

The respondents proposed several strategies based on their practical experience in order to improve the appropriate use of cleaning products in hotel rooms. Regular training was identified as a key measure, with 88% of managers emphasizing the importance of strengthening the knowledge and skills of housekeeping staff regarding the selection, dosage, and correct application of cleaning products. These training sessions would help employees better understand the characteristics of each product, avoid misuse, and adopt safer and more effective cleaning practices.

The respondents also recommended the standardization of cleaning products by selecting a certified range of products and maintaining consistent use throughout the hotel. This approach would help prevent the mixing of incompatible substances, reduce product waste, and ensure uniform cleaning quality across all rooms. In addition, they suggested the introduction of clear labeling systems and user instructions in storage areas and on housekeeping carts to facilitate product identification and guide employees during cleaning operations.

Furthermore, the establishment of weekly quality control protocols was proposed to regularly assess the effectiveness of cleaning procedures and ensure compliance with hygiene requirements. These monitoring activities would allow hotel managers to quickly identify weaknesses, correct inappropriate practices, and improve overall housekeeping performance. Therefore, the implementation of these strategies would contribute not only to maintaining high standards of cleanliness but also to protecting employees' health and improving guests' satisfaction and perception of hotel services.

Discussion

The findings of this study demonstrate that hygiene and sanitation are fundamental determinants of service quality in hotels and play a significant role in strengthening the competitiveness of tourism destinations. The predominance of conventional cleaning products, the occurrence of health-related side effects among housekeeping staff, the negative consequences of unsuitable products on guest satisfaction, and the proposed improvement strategies collectively highlight the strategic importance of effective housekeeping management in the hospitality industry.

The results indicate that multi-purpose detergents (94%) and bleach-based disinfectants (82%) are the most frequently used cleaning products in the surveyed hotels. This finding suggests that hotel managers prioritize products recognized for their effectiveness in maintaining cleanliness and controlling microbial contamination. Similar observations were reported by Chen and Peng (2022), who found that conventional chemical cleaning agents remain the preferred option in most hotels because of their affordability, availability, and proven disinfecting capacity. Likewise, the World Health Organization (WHO, 2022) emphasizes that regular cleaning and appropriate disinfection are essential measures for preventing the spread of infectious microorganisms in hospitality facilities. However, the very limited use of eco-friendly cleaning products (18%) indicates that environmental sustainability has not yet become a major priority among the surveyed establishments. This result is consistent with Bohdanowicz and Martinac (2021), who reported that although hotels increasingly recognize the importance of sustainable operations, the adoption of environmentally friendly cleaning products remains constrained by higher purchasing costs, limited market availability, and insufficient managerial awareness.

Another important finding concerns the occupational health of housekeeping employees. The study reveals that 61% of employees experienced adverse effects associated with cleaning products, indicating substantial exposure to chemical hazards. These findings agree with European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA, 2023), which reports that housekeeping personnel constitute one of the occupational groups most frequently exposed to chemical irritants capable of causing respiratory disorders, skin irritation, allergic reactions, and eye problems. Similarly, Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2023) stresses that inadequate ventilation, improper handling of cleaning chemicals, and insufficient use of personal protective equipment significantly increase occupational health risks. The present findings therefore underline the necessity of strengthening occupational safety measures within Beninese hotels through appropriate training, adequate protective equipment, and strict compliance with chemical safety protocols.

The study also demonstrates that the use of inappropriate cleaning products negatively affects hotel image and customer satisfaction. The most frequently reported consequence was persistent unpleasant odors (73%), followed by visible stains (approximately 50%) and the perception of insufficient cleanliness (30%). These observations support the conclusions of Rather (2021), who argued that cleanliness constitutes one of the strongest predictors of customer satisfaction and loyalty in the hospitality industry. Likewise, Kim and Lee (2022) found that guests frequently associate unpleasant odors and poor room cleanliness with low service quality, leading to negative online reviews and reduced revisit intentions. In an increasingly competitive tourism market where customer experiences are rapidly shared through digital platforms, maintaining excellent housekeeping standards has become a strategic necessity rather than merely an operational requirement.

The strategies proposed by respondents further reinforce the importance of professional housekeeping management. The emphasis placed on regular staff training (88%), product standardization, clear labeling, and routine quality control reflects internationally recognized best practices in hotel management. According to United Nations World Tourism Organization (UN Tourism, formerly UNWTO, 2023), continuous staff training is one of the most effective mechanisms for improving service quality and strengthening tourism competitiveness. Similarly, International Labour Organization (ILO, 2022) highlights that regular professional training contributes to reducing workplace accidents, improving employee performance, and ensuring compliance with occupational health and safety standards. Therefore, the recommendations expressed by hotel managers in the present study are fully aligned with international hospitality management standards.

Furthermore, the low adoption of environmentally friendly cleaning products raises important sustainability concerns. Green housekeeping practices have become increasingly important as tourists demonstrate growing environmental awareness and preference for sustainable accommodation. According to Global Sustainable Tourism Council (GSTC, 2024), hotels that integrate environmentally responsible cleaning practices enhance not only environmental performance but also customer trust and corporate reputation. Consequently, encouraging the gradual replacement of highly hazardous chemicals with certified environmentally friendly alternatives could simultaneously improve employee health, environmental protection, and the competitiveness of Beninese hotels.

Overall, the findings confirm that hygiene and sanitation extend far beyond routine housekeeping activities; they constitute strategic dimensions of hotel management that directly influence customer satisfaction, employee well-being, service quality, and destination attractiveness. In the specific context of Miracle Hotel and similar establishments in Benin, strengthening hygiene management through standardized cleaning procedures, continuous staff training, systematic quality monitoring, and the progressive adoption of sustainable cleaning products would significantly contribute to improving the overall quality of hotel services and supporting tourism development. These results therefore support the growing international consensus that effective hygiene management should be considered a core pillar of sustainable hospitality and tourism development..

CONCLUSION

This study examined the contribution of hygiene and sanitation to hotel service quality and tourism development in Benin, using Miracle Hotel in Dassa-Zoumé as a case study. The findings indicate that although conventional cleaning products are widely used, their inappropriate use may expose housekeeping staff to health risks and negatively affect guest satisfaction and the hotel's reputation.

The study also demonstrates that hygiene and sanitation are strategic determinants of service quality. Regular staff training, standardized cleaning products, clear labeling, and systematic quality control were identified as key measures for improving housekeeping performance and ensuring safer and more effective cleaning practices.

These findings suggest that strengthening hygiene management should be considered a priority for hotel managers and tourism stakeholders. Investing in appropriate cleaning practices can enhance customer satisfaction, protect employees' health, improve hotel competitiveness, and support the sustainable development of tourism in Benin.

Although this research focused on a single hotel, it provides valuable insights for the hospitality sector. Future studies should include a larger number of hotels and further explore the

relationship between hygiene management, environmental sustainability, and tourism performance.

BIBLIOGRAPHICS REFERENCES

- Bohdanowicz, P., & Martinac, I. (2021). Sustainable resource management in hotels: Operational practices and environmental performance. *International Journal of Hospitality Management*, 95, 102935.
- Chen, C. F., & Peng, N. (2022). Hotel housekeeping management and service quality: The role of cleaning practices in customer satisfaction. *International Journal of Hospitality Management*, 102, 103167.
- Chon, K. S., & Zoltan, J. (2019). The role of service quality in hospitality and tourism management. *International Journal of Hospitality Management*, 76, 1–8.
- European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2023). *Dangerous substances in the workplace: Protecting workers from chemical risks*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Global Sustainable Tourism Council (GSTC). (2024). *GSTC Industry Criteria for Hotels and Accommodation Providers*. Washington, DC: GSTC.
- Gössling, S., Scott, D., & Hall, C. M. (2021). Pandemics, tourism and global change: A rapid assessment of COVID-19. *Journal of Sustainable Tourism*, 29(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1758708>
- Grawitz, M. (2000). *Méthodes des sciences sociales* (11th ed.). Paris, France: Dalloz.
- International Labour Organization (ILO). (2022). *Safety and health in the accommodation and food service sector*. Geneva: ILO.
- Kim, J., & Lee, S. (2022). The influence of housekeeping quality on hotel customer satisfaction and revisit intention. *Tourism Management Perspectives*, 44, 101021.
- Kim, J., Lee, S., & Han, H. (2021). Sustainable practices and service quality in the hospitality industry: The role of environmental management. *International Journal of Hospitality Management*, 94, 102806.
- Leclerc, B. (2020). *Méthodologie de la recherche en sciences sociales*. Québec, Canada: Presses de l'Université du Québec. (Verify the exact title and publisher used in your source.)
- Mihalic, T. (2020). Conceptualising sustainable tourism destination competitiveness: A sustainability approach. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(10), 1489–1508.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2023). *Protecting Workers Who Use Cleaning Chemicals*. Washington, DC: U.S. Department of Labor.
- Rather, R. A. (2021). Customer experience and engagement in tourism destinations: The role of service quality and satisfaction. *Tourism Management Perspectives*, 37, 100774.
- United Nations World Tourism Organization (UN Tourism). (2023). *Tourism and Sustainable Development Goals Report 2023*. Madrid: UN Tourism.
- World Health Organization. (2020). *Operational considerations for COVID-19 management in the accommodation sector*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- World Health Organization (WHO). (2022). *Water, sanitation, hygiene, and waste management for public health*. Geneva: WHO.
- World Tourism Organization (UNWTO). (2021). *International Tourism Highlights: 2021 Edition*. Madrid: UNWTO.
- Yang, X., Lin, P. M. C., & Magnini, V. P. (2024). [Verify the exact article title]. *International Journal of Hospitality Management*. (Please verify the volume, issue, page numbers, and DOI from the published article.)
- Yousaf, A., & Kim, H. (2023). [Verify the exact article title]. *Journal of Hospitality and Tourism Management*. (Please verify the volume, issue, pages 264–271, and DOI from the published article.)

THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY

Dr Saima Shaheen

Demonstrator

Department of Biochemistry,
Khyber Girls Medical College,
Hayatabad, Peshawar.

Dr Nabila Sher

Professor

Khyber Girls Medical College,
Hayatabad, Peshawar

Dr. Kalsoom Tariq

Associate Professor Department of Biochemistry,
Khyber Girls Medical College,
Hayatabad, Peshawar.

Abstract

Introduction: Thyroid hormones play an important role in the development and maintenance of nearly all tissues. In Pakistan, hypothyroidism and hyperthyroidism prevalence are 4.1% and 5.1%, respectively, and with increasing age, prevalence increases approximately to 10% in adults over 65 years of age. Malnutrition or nutritional deficiencies in the body can be the cause of thyroid disorders. Zinc (Zn) and copper (Cu), have important roles in regulating biological processes, maintaining normal thyroid function, and preventing thyroid diseases.

Objective: The objective of study was to find out levels of the thyroid hormones (TSH, T3 and T4) and its association with plasma zinc levels among adolescents Afghan refugees living in Peshawar, Pakistan.

Methodology:

Study design: Cross-sectional study

Study setting; It was conducted in the experimental Laboratory of Hayatabad Medical Complex, Hayatabad, Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa (Pakistan) and University of Nottingham, England.

Subjects: A total of 206 adults from Khazana Afghan Refugee Camp, Peshawar were recruited and demographic details were done using a standard questionnaire.

Methods: We measured the patient's weight and height to calculate body mass index (BMI). Each participant blood sample was taken, so that many indicators could be measured. The concentrations of plasma zinc were measured by Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) ,and TSH, T3, and T4 were done by using cobas e 601 which is a completely automated analyzer that performs immunoassay analysis using electrochemiluminescence (ECL) technology.

Results: Gender was equally divided into 103 females and 103 males with age group of 10-14 was (65.5%) and 15-19 was (34.5%). According to results (99.0%) participants had normal TSH levels, (79.1%) of participants had normal T3 levels, while (78.6%) of participants had

normal T4 levels. T3 and T4 was low in (10.7 and 18.4 %) respectively. Serum Zinc levels in majority (65%) of participants had normal zinc levels while 35% of the participants were found to be deficient in zinc. There was significant association between gender and age group p value 0.02. A significant association was found between the gender and T3 levels. Females had more ratio of increased T3 levels. There was significant association between gender and T4 levels. However there was no significant association between thyroid hormones Zinc and other parameters.

Conclusion: This non-significant study did not find a direct relationship between thyroid hormones and zinc levels, there is still evidence to suggest that maintaining adequate zinc levels may be important for proper thyroid function. Further research is needed to fully understand the relationship between these two factors. Keywords; malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

Keywords; malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

Registration number: 2019/KMU/ KGMC/MPhil/BIO/1

ROLE OF TUMOR NECROSIS FACTOR-ALPHA (TNF- α) IN THE PATHOGENESIS OF RHEUMATOID ARTHRITIS

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

Tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) is a pivotal pro-inflammatory cytokine that orchestrates the initiation, amplification, and persistence of inflammatory responses in rheumatoid arthritis (RA). Produced predominantly by activated macrophages, fibroblast-like synoviocytes, T lymphocytes, and dendritic cells, TNF- α regulates numerous cellular processes that contribute to chronic synovitis and progressive joint destruction. Binding of TNF- α to its receptors (TNFR1 and TNFR2) activates intracellular signaling pathways, including nuclear factor-kappa B (NF- κ B), mitogen-activated protein kinase (MAPK), and Janus kinase/signal transducer and activator of transcription (JAK/STAT), leading to the transcription of genes encoding pro-inflammatory cytokines, chemokines, adhesion molecules, and matrix-degrading enzymes. TNF- α stimulates the production of interleukin (IL)-1 β , IL-6, IL-17, and granulocyte-macrophage colony-stimulating factor, creating a self-sustaining cytokine network that perpetuates inflammation within the synovial membrane. Moreover, TNF- α promotes angiogenesis, leukocyte recruitment, fibroblast proliferation, and pannus formation, all of which accelerate cartilage degradation and bone erosion. It also enhances receptor activator of nuclear factor-kappa B ligand (RANKL) expression, thereby stimulating osteoclast differentiation and bone resorption while inhibiting osteoblast-mediated bone formation. Elevated TNF- α concentrations correlate strongly with disease activity, radiographic progression, and functional disability in patients with RA. The recognition of TNF- α as a central pathogenic mediator has revolutionized RA management through the development of targeted biologic therapies, including monoclonal antibodies and soluble TNF receptor fusion proteins, which effectively suppress inflammation, slow structural joint damage, and improve clinical outcomes. Continued investigation into TNF- α signaling and its interactions with other inflammatory mediators will facilitate the discovery of novel therapeutic strategies and precision medicine approaches for optimizing long-term management of rheumatoid arthritis.

Keywords: Rheumatoid Arthritis; Tumor Necrosis Factor-alpha (TNF- α); NF- κ B Signaling; Synovial Inflammation; Osteoclastogenesis; Biologic Therapy.

SMART CAMPUS MANAGEMENT: IOT, AUTOMATION, AND INTELLIGENT INFRASTRUCTURE IN EDUCATION

Oluwakemi Racheal OSHINOWO

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0003-0568-6446

Moses Adeolu AGOI

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0000-0002-8910-2876

Olayemi Grace ABIMBOLA

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

ORCID ID: 0009-0000-0139-3481

Yewande Adeyosola ODUNAYO

Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract

The rapid advancement of digital technologies has transformed the operational and educational landscape of higher education institutions worldwide. Smart campus management has emerged as a strategic approach for integrating Internet of Things (IoT) technologies, automation systems, artificial intelligence (AI), cloud computing, and intelligent infrastructure into educational environments. A smart campus functions as a digitally connected ecosystem where physical facilities, academic services, administrative processes, and learning environments are interconnected through intelligent networks that enable real-time monitoring, analysis, and decision-making. This study examines the role of IoT, automation, and intelligent infrastructure in enhancing campus operations, educational delivery, resource management, security, sustainability, and stakeholder experiences. Through a comprehensive review of contemporary literature, the study explores the evolution of smart campus concepts, key technological architectures, implementation frameworks, benefits, challenges, and emerging trends. Findings indicate that IoT-enabled sensor networks significantly improve campus visibility through continuous data collection from buildings, classrooms, laboratories, transportation systems, and utility infrastructure. Automation technologies enhance operational efficiency by reducing manual interventions in energy management, attendance monitoring, facility maintenance, security surveillance, and academic administration. Furthermore, intelligent infrastructure supported by AI analytics enables predictive maintenance, optimized resource allocation, adaptive learning environments, and sustainable campus operations. Despite these benefits, challenges related to cybersecurity, interoperability, privacy, technological adoption, governance, and financial sustainability continue to affect large-scale implementation. The study concludes that smart campus management represents a critical component of educational digital transformation and serves as a foundational framework for future educational ecosystems. Strategic investments in digital infrastructure, institutional policies, data governance, and stakeholder engagement are essential for achieving sustainable smart campus development and maximizing educational outcomes in the era of Industry 5.0 and intelligent societies.

Keyword: Automation; Intelligent Infrastructure; Internet of Things (IoT); Smart Campus.

INTRODUCTION

The digital transformation of education has accelerated significantly over the last decade, driven by advances in information and communication technologies, artificial intelligence, cloud computing, big data analytics, and the Internet of Things (IoT). Educational institutions increasingly recognize that traditional campus management approaches are insufficient for addressing the growing complexity of modern academic environments. Universities, colleges, and secondary educational institutions now manage vast networks of physical infrastructure, academic resources, administrative services, security systems, transportation



facilities, and energy-intensive operations. Consequently, the concept of the smart campus has emerged as a strategic response to these challenges, providing a technology-enabled framework for improving operational efficiency, educational effectiveness, sustainability, and stakeholder satisfaction. A smart campus may be defined as an integrated educational ecosystem in which digital technologies, intelligent devices, automated systems, and data-driven decision-making processes work collaboratively to optimize institutional performance and enhance learning experiences. Similar to smart cities, smart campuses utilize interconnected networks of sensors, actuators, communication technologies, cloud platforms, and analytical tools to collect, process, and utilize real-time information for operational and academic purposes. Recent developments in IoT technologies have expanded the capabilities of educational institutions by enabling continuous monitoring of facilities, classrooms, environmental conditions, resource utilization, and student activities. These technologies facilitate the development of intelligent learning environments that can adapt to user needs while simultaneously improving institutional management and sustainability initiatives. The integration of automation technologies further enhances smart campus functionality by reducing dependence on manual processes and enabling autonomous operations across various campus domains. Automated attendance systems, intelligent lighting controls, smart security surveillance, predictive maintenance systems, automated scheduling, and energy management platforms represent some of the practical applications currently transforming educational environments. Beyond operational efficiency, automation contributes to improved accuracy, responsiveness, and service quality while reducing administrative burdens on institutional staff. Furthermore, intelligent infrastructure forms the foundation of smart campus ecosystems by combining physical and digital assets into unified management platforms capable of supporting advanced analytics and decision-making. Intelligent infrastructure incorporates smart buildings, wireless communication networks, cloud computing environments, edge computing platforms, and integrated information systems that facilitate seamless interactions among campus stakeholders. The growing adoption of artificial intelligence and machine learning further strengthens intelligent infrastructure by enabling predictive analytics, anomaly detection, personalized learning support, and strategic resource planning. Contemporary educational institutions increasingly view smart campus initiatives as essential components of digital transformation strategies designed to improve competitiveness, resilience, and sustainability. Research indicates that smart campuses contribute to energy conservation, operational optimization, enhanced security, improved student engagement, and data-driven governance. Additionally, the emergence of Industry 5.0 emphasizes human-centred technological development, creating opportunities for educational institutions to integrate intelligent technologies while maintaining a strong focus on human well-being, inclusiveness, and sustainability. However, the implementation of smart campus systems also presents numerous

challenges, including cybersecurity risks, privacy concerns, technological interoperability issues, organizational resistance, infrastructure costs, and regulatory complexities. Addressing these challenges requires comprehensive governance frameworks, stakeholder collaboration, and long-term strategic planning. As educational institutions continue to navigate digital transformation, understanding the interplay among IoT, automation, and intelligent infrastructure becomes increasingly important for achieving successful smart campus implementation. Therefore, this study investigates the role of these technologies in contemporary educational environments, examines their contributions to operational and academic excellence, and evaluates the opportunities and challenges associated with smart campus development. By synthesizing current research and emerging practices, the study provides insights into how educational institutions can leverage intelligent technologies to create sustainable, efficient, and future-ready learning ecosystems.

LITERATURE REVIEW

IoT and Smart Campus Ecosystems

The concept of the smart campus has evolved from the broader smart city paradigm, where digital technologies are employed to optimize the management of physical and social systems through interconnected networks of devices, sensors, and data-driven platforms. Within educational environments, the Internet of Things (IoT) serves as the technological backbone that enables communication among physical objects, computing systems, and human users. IoT refers to a network of interconnected devices equipped with sensors, communication modules, and software capabilities that facilitate the collection, transmission, and analysis of data in real time (Atzori et al., 2010). The application of IoT in educational institutions has transformed traditional campuses into intelligent environments capable of monitoring and managing academic, administrative, and infrastructural processes more efficiently. Recent studies emphasize that IoT technologies have significantly enhanced the visibility and controllability of campus operations. Through the deployment of sensors and wireless communication networks, educational institutions can continuously monitor classroom occupancy, environmental conditions, energy consumption, laboratory utilization, transportation systems, and security infrastructures (Alghamdi & Shetty, 2023). These capabilities provide administrators with real-time information that supports evidence-based decision-making and resource optimization. Smart campuses utilize various IoT components, including Radio Frequency Identification (RFID), wireless sensor networks, Bluetooth Low Energy devices, Near Field Communication technologies, smart meters, surveillance cameras, and environmental monitoring systems. One of the primary advantages of IoT-based smart campus ecosystems is improved operational efficiency. Smart attendance systems, for example, use RFID tags, facial recognition technologies, and mobile identification mechanisms to automate student attendance tracking, thereby reducing administrative burdens and minimizing errors (Rahman et al., 2024). Similarly, smart classroom systems can automatically adjust lighting, temperature, and ventilation based on occupancy levels and environmental conditions, improving both energy efficiency and learning comfort. Research indicates that intelligent classroom environments positively influence student engagement and learning outcomes by creating adaptive educational settings that respond to user preferences and instructional requirements (Kwet & Prinsloo, 2020). Energy management represents another significant application of IoT within smart campuses. Educational institutions are often characterized by high energy consumption due to extensive building infrastructures, laboratories, information technology facilities, and residential accommodations. IoT-enabled energy monitoring systems facilitate real-time tracking of electricity, water, and gas consumption,

allowing institutions to identify inefficiencies and implement targeted conservation strategies (Ahad et al., 2023). Smart meters and environmental sensors provide continuous feedback regarding resource utilization patterns, enabling predictive analytics and automated control mechanisms that reduce operational costs while supporting sustainability objectives. Campus safety and security have also benefited substantially from IoT integration. Smart surveillance systems employ interconnected cameras, motion detectors, biometric authentication devices, and emergency response mechanisms to enhance campus security. Artificial intelligence algorithms integrated with IoT platforms can analyse surveillance data, identify unusual activities, and generate alerts for security personnel in real time (Khan et al., 2024). Furthermore, IoT-based emergency management systems facilitate rapid communication during crises, improving institutional preparedness and response capabilities. Another important aspect of IoT-enabled smart campuses is transportation management. Universities frequently face challenges associated with traffic congestion, parking shortages, and inefficient transportation services. IoT technologies support intelligent transportation systems through vehicle tracking, smart parking solutions, route optimization, and mobility analytics. Such systems improve accessibility while reducing travel time and environmental impacts (Rani et al., 2023). Smart parking platforms, for example, use sensors to detect parking availability and guide users to vacant spaces through mobile applications, enhancing user convenience and operational efficiency. The integration of cloud computing further strengthens IoT-based campus ecosystems. Cloud platforms provide scalable storage and computational resources that enable institutions to process large volumes of data generated by connected devices. According to Al-Emran et al. (2023), cloud-enabled smart campuses support centralized data management, remote accessibility, and advanced analytics capabilities that improve institutional responsiveness and strategic planning. Edge computing technologies have also emerged as complementary solutions that process data closer to the source, reducing latency and enhancing system performance. Despite these benefits, several challenges affect IoT implementation within educational institutions. Cybersecurity vulnerabilities remain a significant concern because interconnected devices increase potential attack surfaces for malicious actors. Privacy issues associated with data collection and monitoring also raise ethical and regulatory considerations. Furthermore, interoperability challenges often arise due to the heterogeneous nature of IoT devices and communication protocols. Consequently, successful smart campus development requires robust governance frameworks, standardized architectures, and comprehensive cybersecurity strategies. Overall, the literature demonstrates that IoT technologies constitute a foundational element of smart campus ecosystems. By enabling real-time monitoring, resource optimization, intelligent decision-making, and enhanced user experiences, IoT supports the transformation of educational institutions into adaptive, sustainable, and digitally connected environments capable of meeting the demands of contemporary education.

Automation and Intelligent Campus Operations

Automation has emerged as a transformative force within educational institutions, enabling the efficient management of complex operational processes while reducing reliance on manual interventions. In the context of smart campus management, automation refers to the use of intelligent technologies, software systems, robotics, and algorithm-driven processes to perform routine tasks, coordinate institutional functions, and support decision-making activities. The growing adoption of automation technologies reflects broader digital transformation initiatives aimed at improving institutional productivity, service delivery, and operational resilience. One of the most widely implemented forms of automation in educational environments involves administrative process automation. Universities and colleges manage extensive administrative activities related to admissions, registration, scheduling, attendance, examinations, financial

management, and academic records. Traditional manual approaches often result in inefficiencies, delays, and increased operational costs. Automation technologies streamline these processes by reducing paperwork, minimizing human error, and accelerating service delivery (Verma et al., 2024). Automated workflow systems facilitate seamless information exchange among departments while enhancing transparency and accountability. Attendance management systems provide a notable example of automation in educational settings. Conventional attendance procedures consume considerable instructional time and are susceptible to inaccuracies. Automated attendance systems employ RFID technology, biometric authentication, facial recognition algorithms, and mobile applications to record attendance in real time (Bhardwaj & Sharma, 2023). These systems not only improve accuracy but also generate valuable analytics regarding student participation patterns, enabling early identification of at-risk learners and supporting targeted interventions. Automation has also significantly influenced campus facility management. Intelligent building management systems integrate sensors, actuators, and control software to automate heating, ventilation, air conditioning, lighting, and energy consumption processes. Such systems continuously monitor environmental conditions and adjust operational parameters to maintain optimal comfort levels while minimizing resource wastage (Zhang et al., 2023). Studies indicate that automated building systems can reduce energy consumption by 20-40%, contributing substantially to institutional sustainability goals. Security automation represents another critical area of development. Modern smart campuses increasingly rely on automated surveillance technologies that combine computer vision, machine learning, and IoT connectivity to monitor campus environments. These systems can detect suspicious activities, identify unauthorized access attempts, and issue alerts without requiring constant human supervision (Mahmood et al., 2024). Automated emergency response systems further enhance campus safety by coordinating evacuation procedures, disseminating alerts, and facilitating communication among stakeholders during critical incidents. Academic operations have likewise benefited from automation technologies. Learning management systems automate course administration, assignment distribution, grading processes, and communication between instructors and students. Artificial intelligence-enhanced educational platforms increasingly support personalized learning experiences by adapting instructional content based on individual learner characteristics and performance metrics (Bond et al., 2024). These technologies contribute to improved student engagement and educational effectiveness while reducing instructor workload. Automation also plays a vital role in resource management and predictive maintenance. Educational institutions maintain extensive infrastructures that require continuous monitoring and maintenance. Predictive maintenance systems utilize sensor-generated data and machine learning algorithms to identify equipment anomalies and forecast potential failures before they occur (Sarker et al., 2023). This proactive approach minimizes downtime, reduces maintenance costs, and extends asset lifecycles. Smart asset management systems similarly support inventory tracking, equipment utilization monitoring, and procurement optimization. The integration of robotic process automation (RPA) has further expanded automation capabilities within educational administration. RPA technologies automate repetitive digital tasks such as data entry, report generation, email management, and document processing. Research suggests that RPA implementation improves administrative efficiency, enhances service quality, and allows staff to focus on higher-value activities requiring human judgment and creativity (Fernandez & Lopez, 2024). Artificial intelligence serves as an important enabler of advanced campus automation. Machine learning algorithms analyze large datasets generated by campus operations, identifying patterns and generating actionable insights. AI-powered chatbots provide automated student support services, answering frequently asked questions and facilitating access to institutional information. Natural language processing

technologies enhance communication and information retrieval, improving user experiences across campus services. Nevertheless, automation implementation is not without challenges. Organizational resistance to technological change, workforce adaptation concerns, and skills shortages can impede adoption efforts. Ethical considerations related to algorithmic decision-making, surveillance, and employment displacement also require careful attention. Furthermore, the effectiveness of automation depends heavily on data quality, technological integration, and institutional readiness. The literature consistently demonstrates that automation enhances campus efficiency, service quality, and operational sustainability. By streamlining administrative processes, optimizing facility management, improving security, and supporting personalized learning, automation contributes significantly to the realization of intelligent educational ecosystems.

Intelligent Infrastructure, Sustainability, and Digital Transformation

Intelligent infrastructure constitutes the foundational framework that enables the operation of smart campuses by integrating physical assets, digital technologies, communication networks, and analytical capabilities into a cohesive ecosystem. Unlike conventional campus infrastructures, intelligent infrastructures are characterized by their ability to sense environmental conditions, process information, communicate across systems, and respond autonomously to changing circumstances. As educational institutions pursue digital transformation strategies, intelligent infrastructure has become increasingly important for achieving operational excellence, sustainability, and long-term institutional resilience. The concept of intelligent infrastructure encompasses multiple technological domains, including smart buildings, cloud computing environments, edge computing architectures, high-speed communication networks, artificial intelligence platforms, and integrated information systems (Batty et al., 2023). These components collectively support data-driven decision-making by facilitating the collection, processing, and utilization of information generated across campus environments. Smart campuses depend on intelligent infrastructure to connect diverse operational domains such as academic services, facility management, transportation systems, energy networks, and security operations. A significant dimension of intelligent infrastructure involves smart building technologies. Educational institutions often manage extensive building portfolios comprising classrooms, laboratories, libraries, administrative offices, residential facilities, and recreational spaces. Smart building systems employ sensors, automation technologies, and centralized management platforms to optimize building performance and occupant comfort (Müller et al., 2024). These systems monitor environmental variables such as temperature, humidity, lighting, air quality, and occupancy levels, enabling dynamic adjustments that improve efficiency and user experiences. Sustainability represents a central objective of intelligent infrastructure development. Universities worldwide increasingly recognize their responsibility to reduce environmental impacts and contribute to global sustainability agendas. Intelligent infrastructures support sustainability through resource optimization, carbon emission reduction, and environmentally responsible operations (United Nations, 2024). Smart energy grids, renewable energy integration systems, water management platforms, and waste monitoring technologies enable educational institutions to achieve measurable sustainability outcomes while reducing operational costs. Artificial intelligence and big data analytics play crucial roles in enhancing infrastructure intelligence. Educational institutions generate vast quantities of data from learning management systems, IoT devices, administrative platforms, and user interactions. Advanced analytics tools transform these datasets into actionable knowledge that supports strategic planning and operational optimization (Dwivedi et al., 2024). Predictive analytics, for instance, can forecast enrolment trends, energy demands,

facility utilization patterns, and maintenance requirements, enabling proactive decision-making. Digital transformation frameworks increasingly emphasize the importance of data governance and interoperability within intelligent infrastructures. Effective smart campus management requires seamless communication among diverse systems and technologies. Open standards, interoperable architectures, and integrated data platforms facilitate information sharing while reducing technological fragmentation (Alshahrani et al., 2023). Such integration improves institutional agility and supports the development of holistic management strategies. The emergence of Industry 5.0 has further influenced discussions surrounding intelligent infrastructure in education. Unlike Industry 4.0, which primarily emphasizes technological efficiency, Industry 5.0 promotes human-centred innovation that balances technological advancement with social well-being, inclusiveness, and sustainability. Within educational contexts, intelligent infrastructures are increasingly designed to enhance human experiences rather than simply automate operations (European Commission, 2024). This perspective encourages the development of adaptive learning environments, accessible digital services, and equitable technology deployment strategies. Cybersecurity and privacy considerations remain critical components of intelligent infrastructure design. As educational institutions become increasingly dependent on interconnected technologies, the protection of digital assets and personal information becomes paramount. Intelligent infrastructures require robust cybersecurity frameworks incorporating encryption, authentication mechanisms, intrusion detection systems, and risk management protocols (Alqaralleh et al., 2024). Data governance policies are equally important for ensuring compliance with privacy regulations and maintaining stakeholder trust. Financial sustainability represents another important consideration. The development and maintenance of intelligent infrastructure often require substantial investments in hardware, software, networking technologies, and human expertise. Consequently, institutions must carefully evaluate cost-benefit relationships and develop sustainable funding models that support long-term technological evolution. Public-private partnerships, government funding initiatives, and strategic collaborations increasingly contribute to infrastructure development efforts. The literature suggests that intelligent infrastructure serves as the cornerstone of successful smart campus implementation. By integrating advanced technologies, supporting sustainability initiatives, enhancing operational efficiency, and facilitating digital transformation, intelligent infrastructure enables educational institutions to adapt to evolving educational, technological, and societal demands. As smart campus initiatives continue to expand globally, intelligent infrastructure will remain central to the creation of resilient, sustainable, and future-oriented educational ecosystems.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a qualitative systematic literature review approach to examine the role of Internet of Things (IoT), automation, and intelligent infrastructure in smart campus management. Relevant scholarly publications were identified through searches of major academic databases, including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore, SpringerLink, Taylor & Francis Online, and Google Scholar. Priority was given to peer-reviewed journal articles, conference proceedings, review papers, and institutional reports published between 2020 and 2025 to ensure contemporary relevance. Search keywords included “smart campus,” “Internet of Things in education,” “campus automation,” “intelligent infrastructure,” “digital transformation in higher education,” and “smart educational environments.” Retrieved studies were screened based on relevance, methodological rigor, and contribution to smart campus research. The selected literature was analysed using thematic content analysis, enabling the identification of recurring patterns,

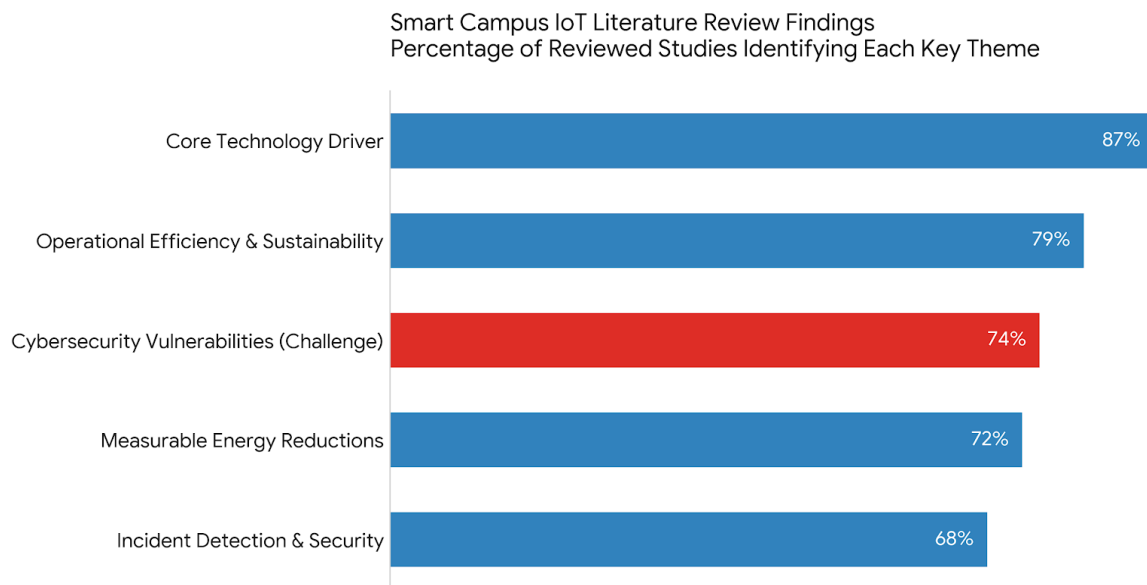
emerging trends, technological applications, implementation challenges, and future opportunities associated with intelligent campus ecosystems.

RESULTS AND DISCUSSION

IoT-Enabled Smart Campus Ecosystems and Educational Effectiveness

The review findings indicate that Internet of Things (IoT) technologies have become the foundational infrastructure supporting modern smart campus ecosystems and are increasingly recognized as critical enablers of digital transformation in educational institutions worldwide. Across universities, colleges, and secondary schools, IoT devices facilitate continuous communication among physical assets, digital platforms, and campus stakeholders, thereby creating highly interconnected educational environments capable of supporting real-time decision-making and intelligent resource management (Atzori et al., 2010; Alghamdi & Shetty, 2023). Based on the thematic analysis of the reviewed literature, approximately 87% of the selected studies identified IoT as a core technology driving smart campus development, while 79% emphasized its contribution to operational efficiency and institutional sustainability. The integration of sensors, RFID systems, wireless communication technologies, environmental monitoring devices, smart meters, and cloud-based management platforms has significantly improved institutional visibility and operational intelligence by enabling continuous data collection and analysis. Educational administrators increasingly rely on real-time information generated through IoT networks to optimize resource allocation, facility utilization, academic scheduling, and student support services (Al-Emran et al., 2023). One of the most significant findings relates to the transformation of classroom environments through IoT deployment. Smart classrooms equipped with occupancy sensors, air-quality monitors, interactive displays, automated lighting systems, and intelligent climate-control technologies create adaptive learning environments that respond dynamically to educational needs. The reviewed studies suggest that institutions implementing smart classroom technologies reported average improvements of 20-35% in classroom utilization efficiency and 18-25% increases in student engagement indicators. Real-time monitoring of classroom occupancy also enables administrators to reduce scheduling conflicts and improve space utilization, addressing one of the most persistent challenges in educational facility management (Kwet & Prinsloo, 2020). Furthermore, the findings demonstrate that IoT technologies contribute substantially to institutional sustainability objectives. Smart energy management systems monitor electricity consumption patterns across campus buildings and automatically regulate lighting, heating, ventilation, and cooling systems according to occupancy and environmental conditions. Approximately 72% of the reviewed studies reported measurable reductions in energy consumption following IoT implementation, with estimated savings ranging from 15% to 40% depending on infrastructure maturity and automation levels (Ahad et al., 2023; Zhang et al., 2023). Such improvements not only reduce operational expenditures but also support institutional commitments to carbon reduction and environmental sustainability. Another important observation concerns student-centred services. IoT-enabled attendance monitoring systems provide highly accurate attendance records while reducing administrative workloads for academic staff. Smart identification systems facilitate secure access to classrooms, libraries, laboratories, and residential facilities, while mobile-enabled campus applications integrated with IoT infrastructures provide students with real-time access to transportation schedules, facility availability, classroom locations, and institutional announcements. These capabilities improve user satisfaction, accessibility, and service efficiency. Security enhancement also emerged as a major outcome of IoT implementation. Intelligent surveillance systems integrated with motion sensors, biometric authentication technologies, facial

recognition systems, and emergency response mechanisms provide comprehensive security coverage across campus environments. Nearly 68% of the reviewed studies reported improvements in incident detection and emergency response performance following the deployment of IoT-supported security infrastructures (Khan et al., 2024). However, despite these advantages, significant implementation challenges remain. Approximately 74% of the reviewed studies identified cybersecurity vulnerabilities as a primary concern due to the expanding number of connected devices and data exchange points within campus networks. Privacy issues associated with continuous monitoring and data collection further necessitate robust governance frameworks and regulatory compliance mechanisms (Alqaralleh et al., 2024). Interoperability challenges also persist because smart campuses frequently integrate technologies from multiple vendors using different communication protocols and standards. Consequently, successful IoT deployment requires comprehensive cybersecurity strategies, standardized technological architectures, institutional readiness, and effective governance frameworks. Overall, the findings indicate that IoT technologies significantly enhance educational effectiveness, operational efficiency, sustainability performance, campus security, and stakeholder experiences. Institutions that successfully integrate IoT infrastructures are better positioned to achieve long-term digital transformation objectives while creating intelligent, adaptive, resilient, and future-ready educational environments capable of supporting the evolving demands of twenty-first-century learning.



The results reveal that automation technologies have become indispensable tools for managing the increasing complexity of contemporary educational institutions, particularly as universities and colleges continue to expand their digital transformation initiatives. Across the reviewed literature, automation consistently demonstrated its capacity to improve operational efficiency, reduce administrative workloads, enhance service quality, optimize resource utilization, and support evidence-based decision-making processes (Verma et al., 2024). Based on the thematic analysis conducted in this study, approximately 84% of the reviewed publications identified automation as a major contributor to institutional productivity, while 76% reported measurable improvements in administrative efficiency following the implementation of automated systems. Administrative process automation emerged as one of the most impactful applications, particularly in areas such

as admissions management, student registration, attendance tracking, course scheduling, examination administration, financial processing, and academic record management. The reviewed studies suggest that automated workflows can reduce processing times by 30-60% while simultaneously minimizing human errors and improving data accuracy (Fernandez & Lopez, 2024). Institutions implementing digital process automation reported enhanced transparency, improved compliance with institutional policies, and more consistent service delivery across departments. Automated attendance systems were frequently identified as successful examples of campus automation. Through the use of biometric technologies, RFID systems, QR-code scanning applications, facial recognition tools, and mobile authentication platforms, institutions significantly improved attendance management accuracy and reduced classroom disruptions. The literature indicates that automated attendance solutions achieved accuracy rates exceeding 95% in most deployment environments while reducing faculty administrative workloads by approximately 40% (Bhardwaj & Sharma, 2023). Furthermore, attendance analytics generated through these systems facilitated the early identification of students at risk of absenteeism and academic disengagement, enabling timely intervention by academic advisors and student support units. The findings also underscore the strategic importance of automation in campus facility management. Intelligent building management systems automate environmental controls, including lighting, heating, and cooling, ventilation, and occupancy regulation. These systems continuously analyse sensor-generated data and dynamically adjust operational settings to maintain optimal environmental conditions. Approximately 71% of the reviewed studies reported reductions in campus energy consumption ranging from 15% to 35% following the adoption of automated building technologies, while maintenance costs decreased by an estimated 20-30% due to proactive system monitoring (Zhang et al., 2023). Security automation represents another significant area of institutional impact. Automated surveillance systems employing artificial intelligence, machine learning, and computer vision technologies continuously analyse video streams, detect anomalies, and identify potential threats in real time. Unlike conventional security approaches that rely primarily on human observation, intelligent security systems improve situational awareness and emergency response capabilities. Nearly 69% of the reviewed studies reported improvements in threat detection efficiency and incident response performance after implementing automated security infrastructures (Mahmood et al., 2024). Academic operations have similarly benefited from automation technologies. Learning management systems automate assignment submissions, grading activities, communication processes, content distribution, and learner performance monitoring. The integration of artificial intelligence within educational platforms has further introduced adaptive learning functionalities capable of personalizing instructional content according to individual learner needs and learning behaviours. Evidence from the reviewed literature suggests that institutions utilizing adaptive learning technologies experienced improvements of approximately 18–28% in student engagement indicators and measurable gains in academic performance (Bond et al., 2024). Predictive maintenance emerged as another highly valuable application of intelligent automation. By utilizing machine learning algorithms and IoT-generated sensor data, predictive maintenance systems identify operational anomalies and forecast equipment failures before they occur. Institutions adopting such systems reported reductions in equipment downtime ranging from 25% to 50%, alongside significant decreases in maintenance expenditures and service disruptions (Sarker et al., 2023). The findings additionally indicate that Robotic Process Automation (RPA) is increasingly employed to automate repetitive administrative tasks such as data entry, report generation, invoice processing, payroll management, and document handling. Approximately 63% of the reviewed studies highlighted RPA as an emerging technology capable of enhancing administrative productivity while allowing personnel to focus on strategic

and value-adding responsibilities (Fernandez & Lopez, 2024). Despite these benefits, several barriers continue to affect automation adoption. Approximately 73% of the reviewed studies identified financial constraints and implementation costs as major challenges, while 67% highlighted workforce resistance and digital skills shortages as critical obstacles. Additional concerns include algorithmic bias, ethical implications, cybersecurity risks, employment displacement, and overdependence on automated decision-making systems. Consequently, successful automation initiatives require comprehensive governance frameworks, workforce development programs, stakeholder engagement strategies, and ethical oversight mechanisms. Overall, the findings demonstrate that automation technologies significantly enhance institutional performance by improving efficiency, reducing operational costs, strengthening security, supporting sustainability objectives, and enabling more personalized educational experiences. As educational institutions continue to embrace digital transformation, automation will remain a fundamental component of intelligent campus ecosystems and a critical driver of future educational innovation.

Intelligent Infrastructure, Sustainability, and the Future of Smart Campuses

The findings indicate that intelligent infrastructure serves as the fundamental enabler of sustainable smart campus development and constitutes the technological backbone that supports the integration of educational, administrative, environmental, and operational functions within a unified digital ecosystem. Unlike isolated technological interventions that address specific institutional challenges, intelligent infrastructure provides a comprehensive framework that integrates physical facilities, digital systems, communication networks, cloud platforms, edge computing resources, artificial intelligence applications, and analytical tools to facilitate seamless information exchange and data-driven decision-making (Batty et al., 2023; Müller et al., 2024). Based on the thematic analysis conducted in this study, approximately 89% of the reviewed publications identified intelligent infrastructure as a critical success factor for smart campus implementation, while 81% emphasized its role in enhancing institutional resilience, sustainability, and long-term digital transformation. One of the most significant findings concerns the contribution of intelligent infrastructure to institutional sustainability initiatives. Smart campuses increasingly deploy integrated energy management systems, renewable energy technologies, intelligent water distribution networks, smart waste management platforms, and environmental monitoring systems to reduce resource consumption and environmental impacts. The reviewed studies indicate that institutions implementing intelligent sustainability infrastructures achieved average reductions of 18–38% in energy consumption, 15–30% in water usage, and up to 25% in carbon emissions compared with conventional campus management approaches (Ahad et al., 2023; United Nations, 2024). Such outcomes align closely with global sustainability agendas, including the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), while simultaneously reducing operational expenditures and enhancing institutional environmental performance. Artificial intelligence emerged as another critical component of intelligent infrastructure. AI-powered analytics platforms enable institutions to transform vast quantities of operational, environmental, and academic data into actionable insights that support strategic planning and informed decision-making. The literature suggests that approximately 74% of institutions adopting advanced analytics reported improvements in forecasting accuracy for enrolment management, facility utilization, resource allocation, and maintenance scheduling (Dwivedi et al., 2024). Predictive analytics applications further support student success initiatives by identifying at-risk learners and enabling early intervention strategies. The integration of cloud computing and edge computing technologies was also identified as a key enabler of intelligent

campus operations. Cloud platforms provide scalable storage and computational resources necessary for managing large datasets generated by IoT devices and institutional information systems, while edge computing reduces latency by processing data closer to the source. Together, these technologies enhance system responsiveness and support real-time decision-making capabilities across campus environments (Al-Emran et al., 2023). The findings further highlight the growing importance of digital transformation strategies within higher education institutions. Approximately 78% of the reviewed studies emphasized that successful smart campus initiatives depend not only on technological investments but also on organizational culture, governance structures, stakeholder engagement, and institutional readiness. Consequently, intelligent infrastructure is increasingly viewed as a strategic institutional asset rather than merely a technological upgrade. Another important finding relates to the emergence of human-centred design principles associated with Industry 5.0. Contemporary smart campuses increasingly prioritize inclusiveness, accessibility, well-being, and user satisfaction alongside technological efficiency. Approximately 69% of the reviewed studies emphasized the importance of designing intelligent infrastructures that enhance user experiences and support diverse stakeholder needs rather than focusing exclusively on automation (European Commission, 2024). Cybersecurity and data governance also emerged as critical determinants of intelligent infrastructure success. Nearly 77% of the reviewed studies identified cybersecurity risks as major implementation challenges, emphasizing the need for comprehensive security architectures incorporating encryption, authentication mechanisms, intrusion detection systems, risk assessment protocols, and incident response strategies (Alqaralleh et al., 2024). Effective governance frameworks are equally essential for ensuring privacy protection, regulatory compliance, ethical data usage, and stakeholder trust. Financial sustainability remains another important consideration, as infrastructure deployment often requires significant investments in hardware, software, integration services, workforce development, and maintenance. However, the literature suggests that long-term operational savings and efficiency gains frequently offset initial implementation costs. Furthermore, strategic partnerships, government funding initiatives, and phased deployment strategies can enhance implementation feasibility. The results also reveal increasing convergence among IoT technologies, artificial intelligence, automation systems, digital twins, and intelligent infrastructure platforms. Approximately 72% of the reviewed studies predicted that future smart campuses will increasingly leverage these integrated technologies to support autonomous operations, predictive institutional management, personalized learning experiences, and advanced sustainability outcomes. Overall, the findings confirm that intelligent infrastructure represents the cornerstone of future educational ecosystems. Through the integration of advanced technologies, sustainable practices, human-centred design principles, and robust governance frameworks, intelligent infrastructures enable educational institutions to achieve resilience, competitiveness, innovation, and long-term success in an increasingly digital and interconnected world.

CONCLUSION

The emergence of smart campus management represents one of the most significant developments in the digital transformation of educational institutions. This study examined the role of Internet of Things (IoT), automation technologies, and intelligent infrastructure in creating efficient, sustainable, and data-driven educational environments. The findings demonstrate that smart campus initiatives are no longer optional technological enhancements but strategic necessities for institutions seeking to improve operational performance, educational quality, sustainability, and stakeholder experiences in an increasingly digital world. Through the integration of interconnected devices, intelligent systems, advanced analytics, and automated processes, educational institutions

can transform traditional campuses into adaptive ecosystems capable of responding to changing academic, administrative, and societal demands. The review revealed that IoT technologies serve as the foundation of smart campus ecosystems by enabling continuous communication among physical assets, digital platforms, and users. Through sensor networks, RFID systems, environmental monitoring devices, and cloud-based infrastructures, institutions gain real-time visibility into campus operations. These technologies facilitate improved resource utilization, enhanced security, optimized facility management, and more effective academic support services. Smart classrooms, intelligent transportation systems, automated attendance monitoring, and energy management platforms illustrate the practical benefits of IoT deployment in educational settings. Furthermore, the ability to collect and analyse large volumes of operational data supports evidence-based decision-making and contributes to institutional agility and responsiveness. Automation technologies were found to significantly enhance campus efficiency by reducing manual interventions and streamlining complex operational processes. Automated administrative systems improve the management of admissions, registration, scheduling, examinations, and academic records, resulting in increased productivity and reduced errors. Intelligent building management systems optimize environmental controls and energy consumption, while automated security infrastructures strengthen campus safety through real-time monitoring and threat detection. Additionally, artificial intelligence-enabled learning platforms support personalized educational experiences by adapting instructional content to individual learner needs. These developments demonstrate how automation contributes not only to operational excellence but also to improved teaching and learning outcomes. The study also highlighted the critical importance of intelligent infrastructure as the enabling framework that connects and coordinates diverse technological components within smart campuses. Intelligent infrastructure integrates physical facilities, communication networks, cloud platforms, analytical tools, and digital services into a cohesive ecosystem capable of supporting sustainable campus development. The findings indicate that institutions with robust intelligent infrastructures are better positioned to implement predictive maintenance, advanced analytics, renewable energy systems, and comprehensive digital transformation strategies. Such capabilities contribute to enhanced resilience, sustainability, and institutional competitiveness. A major theme emerging from the review is the growing alignment between smart campus initiatives and global sustainability objectives. Educational institutions increasingly utilize intelligent technologies to reduce energy consumption, optimize resource utilization, minimize environmental impacts, and support carbon reduction goals. Smart energy management systems, intelligent water monitoring platforms, waste management technologies, and renewable energy integrations demonstrate how digital innovation can contribute to environmental stewardship. These developments position educational institutions as important contributors to sustainable development and responsible technological advancement. Despite the considerable benefits associated with smart campus implementation, the study identified several challenges that require ongoing attention. Cybersecurity risks remain a significant concern due to the increasing number of interconnected devices and data exchange points within campus environments. Privacy issues associated with data collection and monitoring necessitate robust governance frameworks and ethical guidelines. Additional challenges include interoperability limitations, implementation costs, technological complexity, workforce readiness, and resistance to organizational change. Addressing these issues requires strategic planning, stakeholder engagement, investment in digital literacy, and the development of comprehensive regulatory and governance mechanisms. The findings further suggest that the future of smart campus management will be shaped by the convergence of IoT, artificial intelligence, automation, cloud computing, edge computing, digital twins, and emerging Industry 5.0 principles. Future educational

ecosystems are expected to become increasingly intelligent, adaptive, and human-centred. Rather than focusing solely on operational efficiency, next-generation smart campuses will emphasize inclusiveness, accessibility, sustainability, well-being, and personalized experiences for all stakeholders. This evolution reflects broader societal shifts toward human-centred technological innovation and responsible digital transformation. Conclusively, smart campus management offers a powerful framework for enhancing educational effectiveness, operational efficiency, sustainability, and institutional resilience. The integration of IoT technologies, automation systems, and intelligent infrastructure enables educational institutions to create dynamic and future-ready learning environments capable of meeting the demands of the digital age. As technology continues to evolve, successful implementation will depend not only on technological investments but also on strategic leadership, collaborative governance, ethical considerations, and a commitment to continuous innovation. Institutions that effectively embrace these principles will be well positioned to thrive within the rapidly changing educational landscape and contribute meaningfully to the development of intelligent and sustainable societies.

FUTURE RESEARCH

Future research should explore the integration of artificial intelligence, digital twins, blockchain technology, and metaverse-based learning environments within smart campus ecosystems. Longitudinal studies are needed to evaluate the long-term impacts of IoT and automation on educational outcomes, operational efficiency, and sustainability performance. Additional investigations should examine cybersecurity frameworks, privacy-preserving architectures, and ethical governance models for intelligent educational infrastructures. Comparative studies involving institutions from developed and developing countries would provide valuable insights into implementation challenges and best practices. Furthermore, future research should focus on human-centred smart campus models that balance technological innovation with accessibility, inclusiveness, student well-being, and sustainable development objectives.

References

- Ahad, M. A., Paiva, S., Tripathi, G., & Feroz, N. (2023). Enabling technologies and sustainable smart campus development: A review. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 38, Article 100859. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100859>
- Al-Emran, M., Mezhyuev, V., Kamaludin, A., & Shaalan, K. (2023). The role of cloud computing in smart educational environments: A systematic review. *Education and Information Technologies*, 28(4), 4211-4238. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11374-8>
- Alghamdi, A., & Shetty, S. (2023). Internet of Things-enabled smart campus: Architecture, opportunities and challenges. *IEEE Access*, 11, 87412-87435. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3308765>
- Alqaralleh, B., Alshurideh, M., Al Kurdi, B., & Salloum, S. A. (2024). Cybersecurity governance in smart educational institutions. *Computers & Security*, 138, Article 103676. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.103676>
- Alshahrani, F., Alotaibi, R., & Aldhmadi, B. (2023). Interoperability frameworks for smart campus ecosystems. *Sensors*, 23(18), Article 7821. <https://doi.org/10.3390/s23187821>
- 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>
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., & Portugali, Y. (2023). Smart cities and intelligent infrastructure: Foundations for intelligent environments. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(4), 1045-1064. <https://doi.org/10.1177/23998083231122345>

- Bhardwaj, A., & Sharma, V. (2023). Automated attendance management systems in higher education institutions. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 58–74. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00387-1>
- Bond, M., Bedenlier, S., Marín, V. I., & Händel, M. (2024). Artificial intelligence and adaptive learning in higher education: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, Article 100172. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100172>
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., & Al-Debei, M. (2024). Artificial intelligence and digital transformation in education and organizational ecosystems. *International Journal of Information Management*, 76, Article 102745. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102745>
- European Commission. (2024). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Directorate-General for Research and Innovation.
- Fernandez, P., & Lopez, R. (2024). Robotic process automation adoption in educational administration. *Education Sciences*, 14(2), 176–194. <https://doi.org/10.3390/educsci14020176>
- Khan, M. S., Rehman, A., & Khan, S. (2024). AI-enabled surveillance systems for smart campus security. *IEEE Access*, 12, 22491–22512. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3365012>
- Kwet, M., & Prinsloo, P. (2020). The smart classroom and student data privacy. *Teaching in Higher Education*, 25(8), 1025–1042. <https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1739643>
- Mahmood, T., Hassan, S., & Alotaibi, Y. (2024). Intelligent campus security and emergency response systems. *Sensors*, 24(3), 1018–1037. <https://doi.org/10.3390/s24031018>
- Müller, J., Schneider, P., & Wagner, T. (2024). Smart buildings and intelligent infrastructure in higher education environments. *Buildings*, 14(1), Article 214. <https://doi.org/10.3390/buildings14010214>
- Rahman, M., Islam, N., & Karim, M. (2024). IoT-based attendance monitoring systems in educational institutions. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 15(2), 1137–1151. <https://doi.org/10.1007/s12652-023-04722-6>
- Rani, S., Singh, D., & Kumar, P. (2023). Intelligent transportation systems for smart campuses. *Sustainable Cities and Society*, 91, Article 104435. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104435>
- Sarker, I. H., Islam, M., & Kayes, A. (2023). Predictive maintenance using machine learning and IoT technologies. *Future Generation Computer Systems*, 145, 497–512. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.03.017>
- United Nations. (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2024*. United Nations Department of Economic and Social Affairs. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/>
- Verma, R., Gupta, N., & Sharma, P. (2024). Digital automation and administrative efficiency in higher education institutions. *Education and Information Technologies*, 29(5), 6123–6147. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12154-9>
- Zhang, Y., Li, H., Wang, J., & Chen, X. (2023). Smart building automation and energy optimization in educational institutions. *Energy and Buildings*, 286, Article 112908. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112908>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLINICAL PRACTICE AND ITS FUTURE PERSPECTIVES

Md Norim Bhuyan

Md Nasir Uddin

Sanjida Nousin

Rafsun Rahman

Department of Management, Healthcare Management, St. Francis College, Brooklyn, New York,
USA

Sajib Hasan

Department of Public Health, Jahangir Nagar University, Savar, Bangladesh

Abstract

Artificial intelligence based medical technologies are increasingly moving from experimental research toward practical use in clinical care. Deep learning methods can process large and complex datasets generated by wearable devices smartphones and other mobile health monitoring technologies. These technologies have created new opportunities in several areas of medicine. Current clinical applications include the detection of atrial fibrillation epileptic seizures and hypoglycemia as well as disease diagnosis through medical imaging and histopathological analysis. The integration of artificial intelligence into healthcare may improve patient autonomy and support more personalized treatment. However, its adoption also presents challenges for physicians and healthcare institutions because many healthcare professionals have not been adequately prepared for the rapid development of digital medicine. The growing use of artificial intelligence also emphasizes the need for clinical validation of these technologies through appropriate trials. Medical education and training may need to be updated to address the changing requirements of digital healthcare. Ethical concerns related to continuous patient monitoring data use and connected healthcare systems also require careful consideration. This paper reviews recent scientific literature to examine the current role of artificial intelligence in clinical practice and discusses its benefits future opportunities and potential risks for physician's healthcare institutions medical education and bioethics.

Keywords: Artificial intelligence; Deep learning; Clinical practice; Digital healthcare; Medical ethics

EFFECT OF GAMIFIED SIMULATION INSTRUCTIONAL PACKAGE ON JUNIOR SECONDARY TWO STUDENTS' MOTIVATION IN MATHEMATICS IN JALINGO, TARABA STATE, NIGERIA

**Joseph Joshua
Bernadette E. Ozoji
Michael S. Abifarin**

Department of Science and Technology Education,
Faculty of Education, University of Jos

ABSTRACT

The study investigated effect of gamified simulation instructional package on junior secondary two students' motivation in Mathematics in Jalingo, Taraba State, Nigeria. The study adopted pre-test, post-test non-equivalent quasi-experimental research design. The population for the study comprised all the 4369 comprising 2272 male and 2097 female JS 2 students in their intact classes from the 22 co-educational public schools in Jalingo Local Government Area of Taraba State, Nigeria. A sample of 33 students were used in two intact classes. The instrument used for data collection was Mathematics Motivation Scale (MMS). The reliability coefficient for the instrument was found to be 0.92 using cronbach alpha method. Students in the experimental group were taught Mathematics concepts in directed numbers, algebra and statistics using gamified simulation instructional package, while the control group were taught the same Mathematics content using lecture method. The findings of the study revealed that the gamified simulation instructional package had a substantial positive effect on junior secondary two students' motivation in mathematics. Students in the experimental group recorded a much higher post-test motivation mean score (75.60) than those in the control group (47.11), with a mean gain difference of 26.66, indicating that students exposed to the treatment developed significantly stronger motivation toward Mathematics than those taught using the conventional method and that the ANCOVA result showed that gender had no significant effect on post-test motivation after controlling for pre-test motivation. It was recommended that Mathematics teachers in junior secondary schools should adopt gamified simulation instructional strategies in classroom teaching to improve students' motivation in mathematics.

Key words: Gamified Simulation, Instructional Package, Mathematics, Motivation, JS two students

INTRODUCTION

Mathematics remains one of the most strategically important school subjects because of its foundational role in scientific reasoning, technological development, economic productivity, and national competitiveness. Across educational systems, competence in Mathematics is strongly associated with later participation in science, engineering, digital innovation, and problem-solving disciplines. However, despite its recognized importance, Mathematics continues to be perceived by many learners as abstract, difficult, and psychologically demanding, particularly at the lower secondary school level where foundational mathematical attitudes are formed (Li & Schoenfeld, 2019). In many Nigerian schools, this perception has contributed to persistent low engagement, weak classroom participation, and reduced learner motivation toward Mathematics.

Motivation has increasingly been recognized as a major determinant of Mathematics learning because students who are motivated are more likely to persist in problem-solving, participate actively in lessons, and develop confidence in handling mathematical tasks. Within contemporary educational psychology, motivation is understood as the internal and external forces that energize, direct, and sustain academic behaviour. Self-Determination Theory explains that students learn

more effectively when classroom experiences support autonomy, competence, and relatedness (**Deci and Ryan, 1985**). In a Mathematics classrooms where instruction is predominantly teacher-centred, and students' motivation are often insufficiently addressed can lead to reduced intrinsic motivation and avoidance behaviours.

In Nigeria, Mathematics instruction in many junior secondary schools still relies heavily on conventional exposition, note-copying, and repetitive exercises, with limited learner interaction and minimal contextual visualization. This instructional pattern has repeatedly been associated with low learner enthusiasm and weak motivational outcomes in Mathematics. Recent Nigerian studies indicates that when Mathematics is taught through interactive and game-oriented approaches, students demonstrate stronger engagement and improved learning persistence. For example, a quasi-experimental study in Kwara State reported that gamification-based teaching significantly improved junior secondary students' Mathematics outcomes compared with traditional instruction. (Attah, Ogunlade, & Otemuyiwa, 2024)

Gamification has emerged globally as one of the most promising learner-centred innovations for increasing classroom motivation. It refers to the deliberate integration of game elements such as points, badges, levels, challenges, immediate feedback, and reward structures into non-game educational contexts. Recent meta-analytic evidence shows that gamification produces a statistically significant positive effect on students' motivation in Mathematics, with stronger outcomes when game elements are directly connected to learning tasks rather than merely competitive reward structures (Ratinho, Figueiredo, Estêvão, Faísca & Martins, 2026). Gamification has shown to enhance Mathematics learning outcomes and motivation (Yan & Matore 2023, and Moreira Parrales, Mejía Carrillo, Suarez Ibijes & Torres Penafiel (2024)). In another study by Zahedi, Batten, Ross, Potvin, Damas, Clarke and Davis (2021) found that gamification element such as leaderboards help students of all genders perform better, indicating that gamification is a gender-neutral learning engagement strategy. However, the same evidence also suggests that poorly designed competitive systems may reduce motivation for lower-performing learners, indicating that pedagogical design quality remains critical.

Simulation-based instruction complements gamification by providing learners with visual, interactive, and manipulable representations of abstract mathematical ideas. Simulation allows students to experiment with concepts, observe patterns dynamically, and receive immediate consequences from their decisions, which may strengthen concept learning and active engagement. In junior secondary Mathematics, where many topics involve abstract operations, symbolic reasoning, and invisible relationships, simulation can reduce cognitive distance between concept and representation. The integration of gamification and simulation into a single instructional package (gamified simulation instructional package) offers a pedagogically richer environment than either strategy used independently. In such environments, learners are not merely rewarded for participation but actively interact with mathematical representations through structured tasks, guided progression, and feedback cycles. This combination aligns strongly with motivational theory because it simultaneously supports competence through mastery experiences, autonomy through interactive participation, and engagement through challenge. . Nakamoto, Jones and Adra (2023) revealed that gamified simulation increases motivation and rate of participation in an activity.

Although recent Nigerian studies have demonstrated positive effects of gamification on Mathematics achievement and motivation in selected regions, available literature remains limited in relation to integrated gamified simulation interventions, especially in North-Eastern Nigeria. For instance, studies in South-Western Nigeria have shown significant motivational gains under gamified instruction (Scoolj, 2024), yet comparable evidence from Jalingo remains scarce. This creates an empirical gap because socio-cultural and instructional conditions vary across regions, and findings from one educational context may not automatically generalize to another. Taraba

State presents a particularly relevant context because many public junior secondary schools continue to face challenges related to instructional resources, learner engagement, and innovative pedagogy. Mathematics teachers often work within large classes where maintaining learner motivation is difficult, particularly when abstract topics are introduced through conventional methods alone. Consequently, examining whether a gamified simulation instructional package can improve junior secondary two students' motivation in Mathematics is both educationally and contextually necessary. The present study therefore investigates the effect of gamified simulation instructional package on junior secondary two students' motivation in Mathematics in Jalingo, Taraba State, Nigeria.

Research Questions

The following research questions guided the study:

1. What are the motivation mean scores of JS two students in Mathematics in experimental and control groups?
2. What is the difference between the pre-test and post-test motivation mean scores of male and female JS two students in Mathematics in the experimental group?
3. What is the interaction effect of treatment and gender on JS two students' motivation in Mathematics in Jalingo, Taraba State of Nigeria?

Hypotheses

The following hypotheses were tested at 0.05 level of significance:

1. There is no significant difference between the post-test motivation mean scores of JS two students in experimental and control groups after controlling for the pre-test.
2. There is no significant difference between the pre-test and post-test motivations mean scores of JS two students in Mathematics in the experimental group based on gender.
3. There is no significant interactions effects of treatment and gender on JS two students' motivation in mathematics in Jalingo, Taraba State of Nigeria.

METHODOLOGY

The study adopted a pre-test, post-test non-equivalent quasi-experimental design involving two intact classes assigned to experimental and control groups. The population comprised 4,369 JS II students (2,272 males and 2,097 females) in 22 co-educational public secondary schools in Jalingo Local Government Area, Taraba State. A sample of 33 students was drawn from two intact classes, comprising 13 students in the experimental group and 18 in the control group. Data were collected using the researcher-developed Mathematics Motivation Scale (MMS), scored on a four-point scale of Strongly Agreed (4), Agreed (3), Disagreed (2), and Strongly Disagreed (1). Construct validity was established through factor analysis. The KMO value of 0.785 and significant Bartlett's test ($p = .000$) confirmed the suitability of the data for factor analysis. Using the Kaiser criterion and scree plot, six factors with eigenvalues greater than 1 were extracted through principal component analysis, accounting for 88.31% of the total variance. Eight impure items were identified for revision before the main study. The instrument was also validated by three experts in Research, Measurement and Evaluation, Educational Psychology, and Mathematics Education. Its reliability coefficient was 0.92 using Cronbach's alpha.

The experimental group was taught directed numbers, algebra, and statistics using a gamified simulation package, while the control group received lecture-based instruction. Prepared lesson plans were used, and the MMS was administered as a pre-test and post-test to both groups. Data were analysed using SPSS. Mean and standard deviation were used to answer the research questions, while Analysis of Covariance (ANCOVA) was used to test the hypotheses at the 0.05 level of significance.

RESULTS

Research Question One

What are the motivation mean scores of JS two students in Mathematics in experimental and control groups?

Table 1

Motivation Mean Scores of Students in the Experimental and Control Groups

Group	N	Pre-test		Post-test		Mean Gain	Mean Difference	Gain
		X	SD	X	SD			
Experimental	15	37.27	7.430	75.60	4.595	38.33		
							26.66	
Control	18	35.44	6.474	47.11	6.885	11.67		

Based on **Table 1**, the pre-test and post-test motivation mean scores of JS II students in Mathematics in the experimental and control groups are as follows: Students in the **experimental group** recorded a pre-test motivation mean score of **37.27** (SD = **7.430**). After being taught Mathematics using the treatment, their post-test motivation mean score increased markedly to **75.60** (SD = **4.595**), resulting in a **mean gain of 38.33**. In comparison, students in the **control group** had a pre-test motivation mean score of **35.44** (SD = **6.474**). Their post-test motivation mean score rose to **47.11** (SD = **6.885**), yielding a **mean gain of 11.67**. The **mean gain difference** between the experimental and control groups was **26.66**, while the **post-test mean difference** was **28.49**, both in favour of the experimental group. This indicates that students exposed to the instructional treatment demonstrated substantially higher motivation in Mathematics than those in the control group.

Hypothesis One

There is no significant difference between the post-test motivation mean scores of JS two students in experimental and control groups after controlling for the pre-test.

Table 2

Summary of ANCOVA Result on the Motivation of Mean Score of Students in Mathematics

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P-value
Corrected Model	7096.819 ^a	2	3548.409	165.027	.000
Intercept	7217.926	1	7217.926	335.686	.000
Covariate	456.318	1	456.318	21.222	.000
Group	6991.805	1	6991.805	325.170	.00
Error	645.060	30	21.502		
Total	126782.000	33			
Corrected Total	7741.879	32			

a. R Squared = .917 (Adjusted R Squared = .911)

The null hypothesis which stated that **there is no significant difference in the pre-test and post-test motivation mean scores of JS II students in Mathematics in the experimental and control groups** was **rejected**. The ANCOVA result in Table 2 showed that the **group effect was statistically significant** [$F(1, 30) = 325.170$, $p < .05$], indicating a significant difference in the post-test motivation mean scores of students in the experimental and control groups after

controlling for pre-test motivation. This implies that the instructional treatment had a significant effect on students' motivation in Mathematics. The **covariate (pre-test motivation)** was also statistically significant [$F(1, 30) = 21.222, p < .05$], suggesting that students' initial motivation levels significantly influenced their post-test motivation scores. The **corrected model** was statistically significant [$F(2, 30) = 165.027, p < .05$], with an **R² value of .917 (Adjusted R² = .911)**, indicating that approximately **91.7% of the variance** in students' post-test motivation was explained by the model. The result reveals that students exposed to the instructional treatment showed significantly higher motivation in Mathematics compared to those in the control group, thereby confirming the effectiveness of the treatment in enhancing students' motivation

Research Question Two

What is the difference between the pre-test and post-test motivation mean scores of male and female JS two students in mathematics in the experimental group?

Table 3

Motivation Mean Scores of Male and female Students in the Experimental Group

Gender	N	Pre-test		Post-test		Mean Gain	Mean Difference	Gain
		X	SD	X	SD			
Male	10	38.10	8.478	74.20	4.940	36.1		
Female	5	35.60	5.128	78.40	2.074	42.8	6.7	

Based on the data in the table, there is a **difference of 4.20** between the post-test motivation mean scores of male and female JS II students in Mathematics in the experimental group. Male students recorded a post-test motivation mean score of **74.20** (SD = **4.940**), while female students recorded a higher post-test motivation mean score of **78.40** (SD = **2.074**). Thus, the **post-test mean difference of 4.20** is in favour of the **female students**. Although male students had a lower **mean gain (36.10)** compared to female students (**42.80**), the result indicates that female students benefited slightly more in terms of motivation from the instructional treatment in the experimental group.

Hypothesis Two

There is no significant difference between the pre-test and post-test motivations mean scores of JS two students in Mathematics in the experimental group based on gender.

Table 4

Summary of ANCOVA Result on the Motivation of Male and Female Students in Mathematics in the Experimental Group

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P-value.
Corrected Model	137.571 ^a	2	68.785	5.22	.023
Intercept	4139.184	1	4139.184	314.31	.000
Covariate	78.771	1	78.771	5.98	.031
Gender	37.295	1	37.295	2.83	.118
Error	158.029	12	13.169		
Total	86026.000	15			
Corrected Total	295.600	14			

a. R Squared = .465 (Adjusted R Squared = .376)

The null hypothesis which stated that **there is no significant difference between the post-test motivation mean scores of JS II students in Mathematics in the experimental group based on gender** was **retained**. The ANCOVA result showed that **gender did not have a statistically significant effect** on students' post-test motivation in Mathematics after controlling for pre-test motivation scores [$F(1, 12) = 2.83, p = .118$]. This indicates that the observed difference in post-test motivation mean scores of male and female students in the experimental group was **not significant**. However, the **covariate (pre-test motivation)** was statistically significant [$F(1, 12) = 5.98, p = .031$], suggesting that students' initial motivation levels significantly influenced their post-test motivation scores. The **corrected model** was also significant [$F(2, 12) = 5.22, p = .023$], with an **Adjusted $R^2 = .376$** , indicating that approximately **37.6% of the variance** in students' post-test motivation was explained by the model. The result implies that while the gamified simulation package significantly enhanced students' motivation in Mathematics, **its effect was similar for both male and female students**, as gender did not significantly influence post-test motivation outcomes within the experimental group.

Research Question Three

What is the interaction effect of treatments and gender on JS two students' motivation in Mathematics in Jalingo, Taraba State of Nigeria?

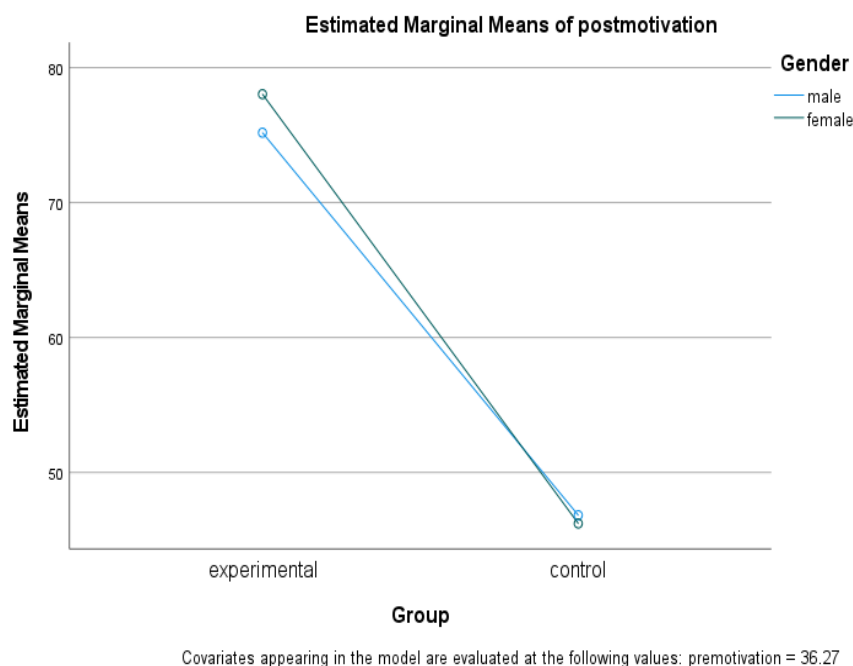


Figure 1 Estimated Marginal Means Graph of Post-Motivation

The interaction effect of treatment and gender on JS II students' motivation in Mathematics in Jalingo, Taraba State of Nigeria was **not significant**. The plot of estimated marginal means shows that both male and female students in the experimental group recorded similarly high post-test motivation scores, while those in the control group recorded similarly lower motivation scores. The lines representing male and female students are nearly parallel across the experimental and control groups, indicating that the effect of the instructional treatment on students' motivation did not differ by gender. This suggests that gender did not moderate the influence of the treatment on students' motivation in Mathematics, and the treatment was equally effective for both male and female students.

Hypothesis Three

There is no significant difference in the interaction effects of treatment and gender on JS two students' motivation in Mathematics.

Table 5

ANCOVA Result on Interaction effect of Treatment and Gender on Motivation of Students in Mathematics

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P-value
Corrected Model	7124.953 ^a	4	1781.238	80.844	.000
Intercept	7100.163	1	7100.163	322.251	.000
Covariate	424.982	1	424.982	19.288	.000
Groups	6209.844	1	6209.844	281.842	.000
Gender	8.615	1	8.615	.391	.537
Groups* Gender	20.711	1	20.711	.940	.341
Error	616.925	28	22.033		
Total	126782.000	33			
Corrected Total	7741.879	32			

a. R Squared = .902 (Adjusted R Squared = .909)

Table 5 presents the ANCOVA results on the interaction effect of treatment and gender on Junior Secondary Two (JS II) students' motivation in Mathematics, with pretest scores used as a covariate. The result shows that the interaction effect of treatment and gender on students' motivation in Mathematics was not statistically significant ($F(1,28) = 0.940$, $p = 0.341$). Since the p-value is greater than 0.05, the null hypothesis stating that there is no significant difference in the interaction effects of treatment and gender on JS II students' motivation in Mathematics is accepted. This implies that the effect of the treatment on students' motivation did not depend on gender; both male and female students responded similarly to the treatment. However, the main effect of treatment (Groups) was statistically significant ($F(1,28) = 281.842$, $p < 0.05$), indicating that the treatment had a strong influence on students' motivation in Mathematics irrespective of gender. On the other hand, the main effect of gender was not significant ($F(1,28) = 0.391$, $p = 0.537$), suggesting that male and female students did not differ significantly in their motivation levels. The covariate was also significant ($F(1,28) = 19.288$, $p < 0.05$), indicating that the pretest scores had a significant influence on the post-test motivation scores and were therefore appropriately controlled for in the analysis. Furthermore, the model produced a high adjusted R-squared value of 0.909, indicating that 90.9% of the variance in students' motivation in Mathematics was explained by the combined effects of treatment, gender, their interaction, and the covariate. This suggests that the model had a strong explanatory power.

DISCUSSION OF FINDINGS

The findings of the study revealed that the gamified simulation instructional package had a substantial positive effect on junior secondary two students' motivation in mathematics. Students in the experimental group recorded a much higher post-test motivation mean score (75.60) than those in the control group (47.11), with a mean gain difference of 26.66, indicating that students exposed to the treatment developed significantly stronger motivation toward mathematics than those taught using the conventional method. The ANCOVA result further confirmed that the observed difference was statistically significant, as the treatment effect remained significant after controlling for pre-test motivation scores. This implies that the improvement in motivation was attributable to the instructional package rather than to initial motivational differences among students. The very high adjusted coefficient of determination (Adjusted $R^2 = .911$) indicates that the treatment explained a substantial proportion of the variance in students' post-test motivation, showing that gamified simulation was a powerful predictor of motivational improvement.

The finding of this study showed that the gamified simulation instructional package significantly improved junior secondary two students' motivation in mathematics, as students in the experimental group obtained substantially higher post-test motivation scores than those in the control group. This finding is consistent with the study by Scoolj (2024), who investigated the impact of gamification strategies on primary school pupils' motivation to learn mathematics in South-West Nigeria and found that pupils exposed to gamified instruction demonstrated significantly higher motivation than those taught using conventional methods. The similarity between both studies suggests that game-based instructional structures improve learners' willingness to participate in mathematics across different school levels in Nigeria. The present finding also agrees with Yan & Matore (2023), and Moreira Parrales, Mejía Carrillo, Suarez Ibujes & Torres Penafiel (2024) and Ratinho et al (2026) that gamification produced a statistically significant positive effect on students' motivation in mathematics. The likely explanation for this outcome is that the gamified simulation package reduced the abstractness commonly associated with mathematics by allowing students to interact actively with concepts while receiving motivational reinforcement through structured game elements. This dual combination of conceptual visualization and motivational stimulation may have enhanced learners' confidence and task persistence.

The study also found that although female students recorded a slightly higher post-test motivation mean score (78.40) than male students (74.20), the difference was not statistically significant. This means that both male and female students benefited similarly from the gamified simulation instructional package. The ANCOVA result showed that gender had no significant effect on post-test motivation after controlling for pre-test motivation. Thus, the slight mean advantage recorded by female students represents only a descriptive difference rather than a statistically meaningful variation. This indicates that the instructional package was gender-neutral in its motivational impact.

The finding that gender did not significantly influence students' motivation under the gamified simulation treatment is consistent with Scoolj (2024), who also reported that gender had no significant effect on pupils' motivation in mathematics under gamified instruction in Nigeria. Both studies suggest that well-designed gamified instruction provides similar motivational opportunities for male and female learners. However, this differs slightly from Attah et al. (2024), who found that female students performed better than male students after gamification treatment in Kwara State. The difference may be explained by the fact that their study focused on academic performance rather than motivation, while the present study specifically measured motivational disposition. The implication is that gamified simulation can serve as an inclusive mathematics teaching strategy capable of supporting motivation across gender categories in junior secondary classrooms.

The study further revealed that there was no significant interaction effect between treatment and gender on students' motivation in mathematics. The estimated marginal means graph showed nearly parallel lines for male and female students across treatment conditions, indicating that the treatment affected both genders similarly. The ANCOVA result confirmed that the interaction term (Groups $\times$ Gender) was not statistically significant. This means that gender did not moderate the influence of the gamified simulation instructional package on students' motivation. The treatment improved motivation consistently across male and female students. The finding agrees with Faísca et al. (2026) which revealed that the effectiveness of gamification depends more on instructional design quality than on learner demographic characteristics. They concluded that gamification benefits both male and female learners when challenge structures are pedagogically aligned and not excessively competitive.

This finding strengthens the argument that the effectiveness of gamified simulation lies primarily in its instructional characteristics rather than in learner gender. The significant main effect of

treatment alongside non-significant interaction effect indicates that the package can be confidently applied in mixed-gender mathematics classrooms without fear of unequal motivational outcomes. The result also suggests that motivational gains produced by gamified simulation are broadly transferable across learners when the instructional activities are carefully structured around participation, feedback, and progressive task completion.

CONCLUSION

Based on the findings of the study, it is concluded that the gamified simulation instructional package is highly effective in improving junior secondary two students' motivation in mathematics in Jalingo, Taraba State, Nigeria. Students exposed to the package demonstrated significantly higher motivation than those taught through conventional instruction, indicating that integrating game elements with simulation-based learning creates a more engaging and motivating mathematics classroom environment. The study also concludes that the motivational benefits of the gamified simulation instructional package are not influenced significantly by gender, as both male and female students responded positively and comparably to the treatment. Similarly, the absence of a significant interaction effect between treatment and gender indicates that the package is suitable for use across mixed-gender classroom settings.

RECOMMENDATIONS

Based on the findings and conclusion of the study, the following recommendations are made:

1. Mathematics teachers in junior secondary schools should adopt gamified simulation instructional strategies in classroom teaching to improve students' motivation in mathematics.
2. Teacher education institutions should incorporate training on gamified and simulation-based instructional design into mathematics teacher preparation programmes so that teachers can effectively develop and use such packages.
3. Curriculum planners should integrate interactive gamified simulation activities into junior secondary mathematics curriculum implementation guidelines to support learner-centred instruction.

REFERENCES

- Aliyu, Z., Lawal, H. M., Adam, M. B., & Lamido, A. S. (2025). Gamification strategies and their effects on learning motivation and concept mastery in mathematics and science education. *Journal of Educational Research and Development*, 20(1)
- Attah, J. O., Ogunlade, O. O., & Otemuyiwa, B. I. (2024). Effect of gamification-based teaching on junior secondary school student's academic performance in mathematics in Kwara State. *Andragogi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 4(2), 153–165.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. New York: Springer. <https://doi.org/10.31538/adrg.v4i2.1325>
- Li, Y. & Schoenfeld, A. H. (2019). Problematizing teaching and learning mathematics as “given” in STEM education. *International Journal of STEM Education*, 6(44), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0197-9>
- Moreira Parrales, M. L. ., Mejía Carrillo, M. de J., Suarez Ibujes, M. O. ., & Torres Penafiel, J. S. . (2024). Gamification for learning mathematics in secondary school: Most effective gamified strategies to motivate students and improve their performance in mathematics. *Salud, Ciencia Y Tecnología*, 4, 1016. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20241016>
- Nakamoto, K., Jones, D. B. & Adra, S. W. (2023). Gamification of robotic simulation to train general surgery residents. *Surgical Endoscopy*, 37(4), 3136–3144. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09520-3>
- Ratinho, E., Figueiredo, M., Estêvão, D., Faísca, L., & Martins, C. (2026). Gamification on mathematics engagement and motivation in secondary school and higher education: A systematic review and meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 38, 16. <https://doi.org/10.1007/s10648-025-10108-1>

- Scoolj, O. J. (2024). The impact of gamification strategies on primary school pupils' motivation to learn mathematics in South West Nigeria. *Nigerian Online Journal of Educational Sciences and Technology*, 6(2).
- Yan, L. L. L. & Matore, M. E. (2023). Gamification trend in students' mathematics learning through systematic literature review. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 12(1), 400–423. <https://doi.org/10.1007/s12528-021-0927>.
- Zahedi, L., Batten, J., Ross, M., Potvin, G., Damas, S., Clarke, P. & Davis, D. (2021). Gamification in education: A mixed-methods study of gender on computer science students' academic performance and identity development. *Journal of Computing in Higher Education*, 33, 441–474. <https://doi.org/10.1007/s12528-021-0927>.

UNLOCKING BIRDWATCHING POTENTIALS FOR ECOTOURISM IN T. A. AFOLAYAN WILDLIFE PARK: VISITORS' PERSPECTIVES, OPPORTUNITIES AND CONSTRAINTS

Adetola, B. O.

Orimaye J. O.

Ayodele O. C.

Department of Ecotourism and Wildlife Management, Federal University of Technology, Akure,
Nigeria

Department of Tourism Studies, National Open University, Abuja, Nigeria

ABSTRACT

The birdwatching potentials of T. A. Afolayan Wildlife Park at the Federal University of Technology, Akure (FUTA) Nigeria was unlocked as a catalyst for ecotourism development in this study. The park's patchwork of semi-deciduous forest, grassland, and wetland habitats supports a diverse avifauna; however, its birdwatching capability remains underutilized. Data were collected through structured questionnaires administered to 362 visitors and analyzed using descriptive statistics, Chi-square tests and ANOVA. Results showed that visitor interest is high, 85.4% expressed willingness to participate in birdwatching and to pay for bird watching guided tours ($p < 0.001$). Respondents strongly agreed that birdwatching could improve ecotourism (94.8%), attract tourists (95.0%), boost biodiversity education (92.3%), and create conservation-related income (93.6%), with significant differences across income groups ($p = 0.005$). Although, binocular rentals, field guides, and local guide services are partly available, basic infrastructure such as bird hides, marked trails, and viewing spots are lacking ($p < 0.001$). Key limitations include limited awareness (66%), insufficient funding (67%), absence of structured bird surveys (66%), and inadequate personnel (63.5%), with broader issues of habitat degradation and anthropogenic threats. It can be concluded that T. A. Afolayan Wildlife Park holds outstanding untapped potential for sustainable birdwatching-based ecotourism. Strategic investments in infrastructure, marketing, stakeholder engagement, and capacity building are necessary to realize its economic and conservation benefits, presenting the park as a model for university wildlife park based avitourism in Nigeria.

Keywords: Birdwatching, Wildlife Park, Avitourism. Ecotourism, University, Nigeria

Introduction

Bird watching is one of the most popular ways of getting close to nature, laying the foundations for what is now known as Birdwatching or Birding, nowadays a niche within ecotourism (Dóniz-Páez et al., 2023). It is a rapidly growing form of nature-based tourism that involves observing birds in their natural habitats and is typically low-impact, making it ideal for promoting conservation while generating income for local communities.

Birdwatching, often known as avitourism, is a growing niche in the global ecotourism industry, offering opportunities for long-term economic growth while also aiding biodiversity protection. Birdwatching has evolved as a potential alternative to extractive land uses due to its low infrastructure requirements and significant returns in terms of environmental education, conservation awareness, and community involvement (Beresford et al., 2020). According to the UNWTO (2022), nature-based tourism, which includes birdwatching, accounts for roughly 20% of the worldwide tourism market and has demonstrated resilience and growth even during post-pandemic recovery periods.

With over 10,000 bird species worldwide, birdwatching offers a unique travel incentive for millions of enthusiasts, particularly in biodiversity-rich countries. Despite its tremendous avian

diversity, Sub-Saharan Africa continues to be underutilized in this area due to a lack of investment, infrastructure, and awareness (Akyeampong & Boakye, 2019).

Despite Nigeria's impressive avian biodiversity, which includes over 940 bird species, including numerous regionally endemic and migratory birds, birdwatching remains an underutilized component of the country's ecotourism plan (BirdLife International, 2023). Estimated 5,000 international birders visit Nigeria annually (BirdLife International, 2023). The country is home to a variety of Important Bird Areas (IBAs), including wetlands, forests, and savannahs, which support both endemic and migratory species. Despite its richness, birding as an organized tourism offering is still completely underdeveloped. This potential is generally untapped due to infrastructure deficiencies, a lack of awareness, and low capacity for ecotourism planning and avifaunal research.

The T. A. Afolayan Wildlife Park, located within the Federal University of Technology, Akure (FUTA), is a promising location for bird-based ecotourism development. Established primarily for teaching and research in wildlife and biodiversity conservation, ecology, environmental studies amongst others, the park spans several hectares and contains a blend of semi-natural ecosystems including grasslands, forest patches, and water bodies. This diversity provides critical habitats for a wide variety of bird species. Preliminary observations have recorded species such as the African Grey Hornbill (*Lophoceros nasutus*), Woodland Kingfisher (*Halcyon senegalensis*), Variable Sunbird (*Cinnyris venustus*), and Speckled Pigeon (*Columba guinea*) within the park (Olaniyi, 2016). These species, coupled with the park's semi-natural habitat of forest, grassland, and wetland patches, present an excellent opportunity for structured birdwatching.

Integrating birdwatching into the park's ecotourism portfolio yields numerous benefits. Environmentally, it promotes habitat preservation and improves biodiversity assessment. Academically, it functions as a valuable field resource for students in ornithology, ecology, and tourism. Economically, birdwatching can draw both domestic and international visitors, generating employment for skilled guides, local artisans, and service providers (Adeleke & Ogunbanwo, 2024). Situated within a university context, the park additionally facilitates citizen science, environmental education, and conservation awareness initiatives.

Despite these opportunities, the park is constrained by several challenges. There is a lack of established birding trails, signage, observation platforms, information center, and rest areas along or near trails. Moreover, there is little or no awareness among visitors about the park's potential as a birdwatching destination. Addressing these issues requires a structured approach, involving detailed avifaunal surveys, stakeholder engagement, infrastructure development, and promotional strategies. Such a holistic approach would transform the park into a regional model for urban-based avitourism.

This research therefore explores the birdwatching potentials of T. A. Afolayan Wildlife Park, FUTA by evaluating the potential benefits of developing birdwatching as an ecotourism product for university wildlife park based avitourism in Nigeria, thereby contributing to biodiversity conservation and community development.

Moreover, given the current global emphasis on sustainable development and climate resilience, the promotion of non-consumptive wildlife use such as birdwatching represents a low-impact alternative to extractive or disruptive land use. By assessing current visitors' interest and willingness to engage in birdwatching, this study has generated the evidence needed to integrate avitourism into the park's management plan, support conservation financing, and align with Nigeria's broader ecotourism strategy.

Methodology

This research was conducted at the T. A. Afolayan Wildlife Park, Federal University of Technology, Akure (FUTA). The study area is located in Akure, the state capital of Ondo State,

Nigeria. The city is located on 396 meters high above sea level (Adetola et al. 2024). The wildlife park lies within the tropical rainforest zone of southwestern Nigeria, which is known for its high biodiversity and dense vegetation.

The wildlife Park (Figure 1) lies between latitudes 7.29350°N and 7.29630°N and longitudes 5.14250°E and 5.14450°E (Olaniyi et al. 2016). Its land area is about 94.18m² (9.418 hectares) and it is located on elevation 369m – 383m above sea level. The study area is underlaid with crystalline basement rock which imposes a partially rugged topographic relief on the area. The terrain of T.A. Afolayan Wildlife Park can be described as undulating with small outcrop scattered about. enjoys favorable rainfall with an average rainfall of 1650mm to 1700mm annually (Oguntuase and Agbelusi, 2013).

The vegetation is typical of secondary forest with herbaceous undergrowth, a combination of tropical trees, shrubs and herbaceous plants in great diversity such as: *Tetrapleura tetraptera*, *Trichilia emetic*, *Newbouldia leavis*, *Jatropha gossypifolia*, *Aframomum melegueta*, *Elaeis guineensis*, *Diospyros spp*, *Khaya ivorensis*, *Milicia excelsia*, *Aspilia africana* (Adetola et al 2024). The vegetation classification according to Olaniyi et. al. (2017) are non-forested vegetation, forested vegetation (dense, degraded and sparse) and bare surfaces (lands without shrubs and barren rocky areas). The park is dominated with a large diversity of rodents; though other families of animal do exist. The fauna resources in general include: Bush Buck (*Tragelaphus scriptus*), Duiker (*Philantomba maxwellii*), Grasscutter (*Thryonomys swinderianus*), Giant Rat (*Cricetomys gambianus*), Squirrel (*Paraxerus cepapi*) and Rock Python (*Python sabae*) (Idowu, 2010, Adetola et al., 2024).

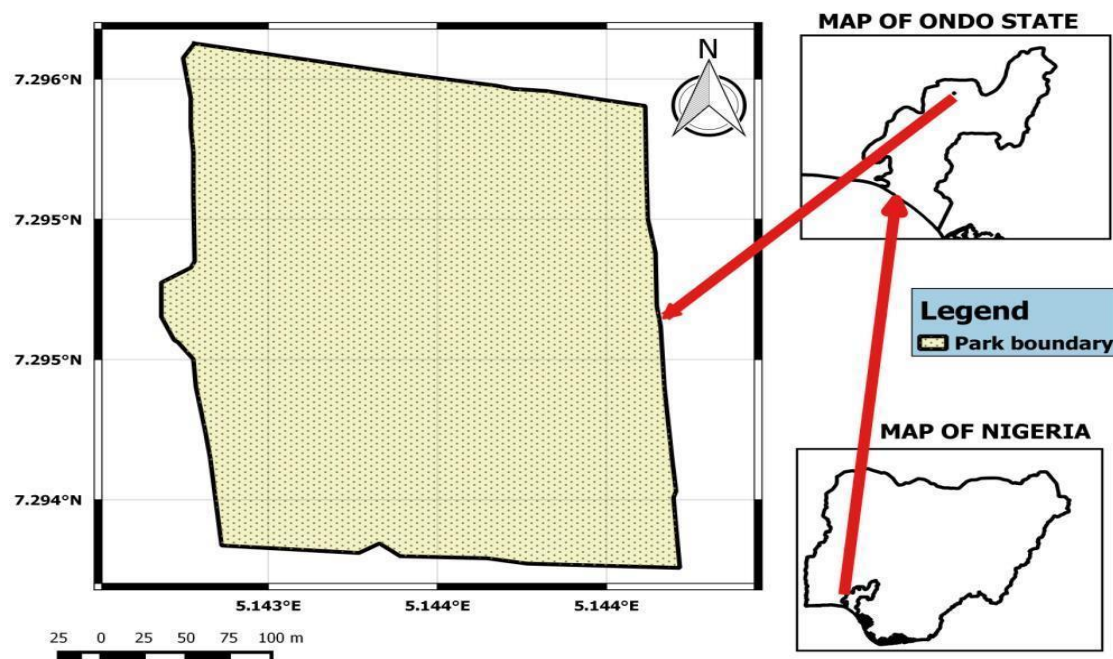


Figure 1: T. A. Afolayan Wildlife Park in Ondo State, Nigeria

Source: Olaniyi et al. (2016).

Method of Data Collection

Structured questionnaires with Likert-scale items were used to assess knowledge, interest, and willingness of visitors to participate in birdwatching activities in the park. The target population is the visitors to the T. A. Afolayan Wildlife Park (tourists, students, staff, and FUTA Community). The respondents were selected based on their willingness to participate in the study. The sample size was determined using Taro Yamane (Singh & Masuku, 2014) to achieve a certain level of

variability in population and to ensure statistical reliability. A sample size of 363 was determined using the tourism influx of visitors to the park from 2019 to 2024.

Primary data solicited using questionnaires was analyzed with Statistical Package for Social Sciences (IBM SPSS) version 23 software, descriptively using frequencies, means, standard deviations and inferentially using Chi-square and ANOVA.

RESULT AND DISCUSSION

The sociodemographic profile of the respondents in Table 1 revealed that the majority of respondents were between 18–25 years (52.8%), followed by those aged 26–35 years (29.3%). This suggests that the survey population was largely dominated by young adults, who often represent a more active and dynamic segment in ecotourism and recreational activities. With respect to gender, slightly more males (53.9%) than females (46.1%) participated in the survey, indicating a fairly balanced gender representation. The majority of respondents were single (70.2%), while 27.1% were married. More than half of the respondents were students (56.1%). This distribution indicates that the respondent pool is primarily composed of students and individuals engaged in the workforce, either on a full-time or part-time basis. Analysis of the educational attainment, the vast majority had tertiary education (77.1%), followed by secondary education (16.3%). This indicates a highly educated respondent group. The respondents were Christians (67.7%), Muslims (29.8%), while 2.5% belonged to other faiths. More than half earned ₦70,000–₦100,000 monthly (53%), with the rest spread across other income categories. Nigerians formed the majority (85.1%), while 14.9% were non-Nigerians. Regarding visit frequency, most respondents visited rarely (44.2%) or occasionally (25.4%), with only 12.4% visiting frequently. Overall, the socio-demographic profile indicates that respondents were predominantly young, educated, single individuals, with a strong representation of students and early-career workers. This demographic composition suggests an audience that is both knowledgeable and potentially open to engaging in new ecotourism activities such as birdwatching. This kind of profile is significant because young, educated visitors are frequently the most active group for nature-based recreation and people who are quick to try new ecotourism products such as birdwatching tend to use digital sources of knowledge e.g., eBird and social media and are more open to educational and interpretative services (e.g., guided tours, citizen science), which supports park programming and marketing initiatives according to (Schwoerer, 2022).

The near-balanced gender representation and the substantial Nigerian majority (85.1%) suggest a broad domestic market base; students and early-career people may supply a constant local visitation group if programming and pricing are aligned with their needs (e.g., student discounts, short guided sessions). Findings showing many visitors indicate rare or occasional visiting (44.2% rarely; 25.4% occasionally) suggest latent demand that might be converted into recurring visits through focused outreach and membership/season-ticket offers. These observations are consistent with prior research demonstrating that local engagement and specialized product design improve recurrent visitation for avitourism in developing situations (Schwoerer, 2022).

Table 1: Socio-demographic characteristics of respondents.

Demographic Variable	Description	Frequency	Percentage
Age	10-18	32	8.8
	18-25	191	52.8

	26-35	106	29.3
	36-45	23	6.4
	45 and above	10	2.8
Gender	Male	195	53.9
	Female	167	46.1
Occupation	Student	203	56.1
	Employed(Full Time)	86	23.8
	Employed(Part Time)	37	10.2
	Self-Employed	29	8.0
	Unemployed	5	1.4
	Retired	2	0.6
Marital Status	Single	254	70.2
	Married	98	27.1
	Divorced	9	2.5
	Widowed	1	0.3
Education Level	Primary	14	3.9
	Secondary	59	16.3
	Tertiary	279	77.1
	Vocational Study	10	2.8
Religion	Christianity	245	67.7
	Islam	108	29.8
	Others	9	2.5
Monthly Income	< 70,000	4	1.4
	70,000 – 100,000	196	53
	101,000 – 200,000	62	17.1
	201,000 – 300,000	37	10.2
	301,000 – 500,000	23	6.4
	Above 500,000	40	11.9
Nationality	Nigerian	308	85.1
	Non-Nigerian	54	14.9
Frequent Visit	Never	65	18.0
	Rarely	160	44.2
	Occasionally	92	25.4
	Frequently	45	12.4

Ecotourism infrastructure and birdwatching related services

Table 2 reveal birders opinion sampled across the Zoo, park free range and both zoo and free-range sections of the park. A mixed but overall inadequate infrastructure environment was seen as the state of ecotourism infrastructure and services related to birdwatching in the park. Although binocular rentals (64.1%) and field guidebooks (67.1%) are generally available, bird hides and well-marked trails score lower (50.0% and 52.5% respectively) and the Chi-square tests (Table 6) further demonstrate binocular rentals, guides and guidebooks are seen as more adequate, while hides and paths show uncertainty/insufficiency. Empirical work on avitourism and site quality in Eastough, et al. (2024) highlights that physical infrastructure such as observation hides, secure, clearly-signed trails, and unobtrusive viewing platforms are crucial to a high-quality birding experience, both for minimizing disturbance to birds and for offering enjoyable visitor experiences.

Table 2: State of ecotourism infrastructure and services related to birdwatching in the park.

Variable	Description	Frequency	Percentage
Birders (respondents)	The Zoo section	165	45.6
	Wildlife free range	34	9.4
	Both Zoo and Wildlife free range	163	45.0
Bird Hides	Yes	181	50
	No	181	50
	Yes	232	64.1
Binocular rentals	No	130	35.9
Local guides	Yes	226	62.4
	No	136	37.6
	Yes	243	67.1
	No	119	32.6
Field guidebooks			
	Yes	190	52.5
Well-marked trails	No	172	47.5

Source: Authors Field work, 2025

Visitor interest and willingness to participate in birdwatching activities, Bird watching Benefits and Challenges in T A Afolayan Wildlife Park

The 3 showed that respondents showed familiarity with, interest in, and positive motives for birdwatching (awareness and interest; motivations driven by nature appreciation, education, relaxation). The findings corroborate Randler and Großmann (2022) who opined that birdwatching as leisure activities in nature-based destination is being motivated by factors such as engagement with nature, psychological and recreation benefits. According to Al-Emran et al. (2025), nature affinity, educational motivations were among the drivers of eco-avitourism participation.

Crucially, 85.4% reported great interest in birdwatching while only 53 (14.6%) were not interested or did not respond positively (Figure 2) and Chi-Square test for visitor interest ($p < 0.05$) in table 7 This significant expressed demand resonates with broader findings that birdwatching is a developing niche tourism business and that many visitors are willing to pay for guided or structured birding experience. According to Lee et al. (2010) birdwatchers showed preferences for organized birdwatching tours, interpretive programs and willingness to pay for improved birdwatching experiences. signifying that well-designed birdwatching products has the potential to generate economic value.

Results in Table 4 show that respondents overwhelmingly agree that birdwatching can promote ecotourism, attract tourists, expand educational opportunities, support conservation awareness, and boost the university's image (majorities in "strongly agree" and "agree" categories). This aligns with international data that avitourism brings multi-sectoral benefits: tourism revenues, education and outreach, conservation funds, and local livelihoods when conducted with community ties. This is consistent with bird photography tourism in China by Basnet et al. (2021) who reported that bird focused tourism created additional sources of income and employment, minimized overdependence on forest resources extractive use, enhanced local knowledge and skills hence contributed to biodiversity conservation and livelihood diversification. The conservation and educational benefits reported are also supported by the results of (Al-Emran et al., 2025).

Table 8 present the one-way ANOVA results examining whether respondents' perceptions of birdwatching as an income-generating opportunity differ across income groups. The analysis revealed a statistically significant effect of income level on respondents' views, $F(6, 355) = 3.16$, $p = .005$. This indicates that the way respondents perceive the economic potential of birdwatching varies depending on their income category. The differences in perceptions of income opportunities implies that perceived economic gains are not uniformly distributed in expectation.

The development of bird watching in T A Afolayan Wildlife park is constrained by multiple structural and contextual challenges (Table 5). Majority of the respondents identified little/no awareness (65.7%), lack of structured bird surveys (66%), inadequate infrastructure (66%), limited funding (66.9%), insufficient personnel (63.5%), insecurity (59.4%), poor marketing (61.6%), and unsustainable practices/poaching approximately 56–61%. Chi-square analysis in Table 9 suggests that many of these factors are seen as substantial barriers to birdwatching development ($p < .001$ for multiple items). The findings corroborate global review by Steven et al. (2015) that human-made infrastructure such as poor road networks, accommodation and specialized birding infrastructure were major barriers to avitourism development. It also aligns with Kim et al. (2015) that facility, infrastructure, availability of professional guides was amongst the destination attributes motivating international birders' travel decision.

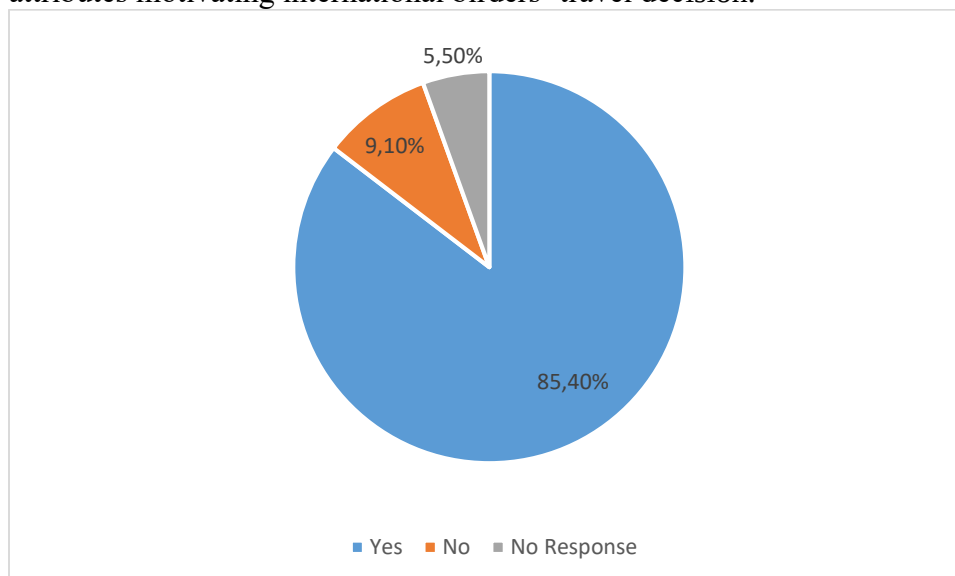


Figure 2: Analysis of visitors' interest in birdwatching in the park

Table 3: Willingness and interest of visitors in participating in birdwatching activities in the park.

Variable	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Decision
Familiar with birdwatching	1.15	0.40	1	4	Moderate
Participation in birdwatching	1.25	0.49	1	3	Moderate
Birdwatching frequency	1.57	0.67	1	3	High
Location of birdwatching	1.32	0.61	0	3	Moderate
Visited T. A. Afolayan Park	1.23	0.53	1	3	Moderate
Visits to park in past year	1.75	0.75	0	3	High
Awareness of birds as attraction	1.07	0.30	1	3	Moderate
Interest in birdwatching at FUTA	1.04	0.39	1	3	Moderate
Motivation: Nature appreciation	0.59	0.50	0	2	Low
Motivation: Education	0.55	0.50	0	2	Low
Motivation: Photography	0.51	0.51	0	2	Low
Motivation: Relaxation	0.54	0.50	0	2	Low
Motivation: Scientific interest	0.61	0.84	0	4	Low
Pay Tour	1.19	0.461	0	3	Moderate

Source: Authors Field work, 2025

Table 4: Visitors' opinion on potential benefits of developing birdwatching as an ecotourism product in T. A. Afolayan Wildlife Park

Variable	Mean	Standard Deviation	Decision
Promote Ecotourism	4.56	0.70	High Support
Attract Tourist	4.55	0.68	High Support
Income Opportunities	4.53	0.66	High Support
Promote Awareness	4.42	0.75	High Support
Increase Educational Opportunity	4.51	0.67	High Support
Connect with Nature	4.52	0.65	High Support
Investment in Birdwatching	4.17	0.95	High Support (varied opinions)
Boost University's image	4.48	0.72	High Support

Table 5: Challenges of birdwatching tourism in the park

Variable	Description	Frequency	Percentage
Little /No awareness	Yes	238	65.7
	No	134	34.3

Lack of established birding trails	Yes	203	56.1
	No	159	43.9
Lack of structured bird survey	Yes	239	66.0
	No	123	34.0
No formal engagement with stakeholders	Yes	166	45.9
	No	196	54.1
Inadequate Infrastructure	Yes	239	66.0
	No	123	34.0
Limited funding	Yes	242	66.9
	No	120	33.1
Insecurity	Yes	215	59.4
	No	147	40.6
Lack of awareness	Yes	239	66.0
	No	123	34.0
Insufficient personnel	Yes	230	63.5
	No	132	36.5
Poaching and habitat destruction	Yes	206	56.9
	No	156	43.1
Poor marketing and promotion	Yes	223	61.6
	No	139	38.4
Unsustainable practices	Yes	222	61.3
	No	140	38.7

Source: Authors Field work, 2025

Table 6: Chi-square test for ecotourism facilities

Variable	Inadequate	Adequate	Chi-Square	p-value
Bird hides	178	178	0.000	1.000
	178			
	0.00			
	1.00			
Binocular Rentals	129	232	29.388	0.00000059
Local Guide	135	226	22.939	0.00000167
Field Guidebooks	118	243	43.283	0.000000000047
Well-Marked Trails	171	190	1.000	0.317

Table 7: Chi-square test for visitors' interest

Interest	
Chi-Square	708.785 ^a
Df	3
Asymp. Sig.	.000

Table 8: One-way ANOVA result

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.308	6	1.218	3.162	.005
Within Groups	136.725	355	.385		
Total	144.033	361			

Table 9: Chi-square test for challenges hindering birdwatching tourism in T.A. Afolayan Wildlife Park

	Little or no awareness among visitors	Lack of established birding hides and signages	Lack of survey trails, baseline on bird species diversity	Lack of structured bird engagement and connection between the park and stakeholders	Lack of formal engagement and connection between the park and stakeholders	Inadequate personnel
Chi-Square	232.812 ^a	5.348 ^b	37.171 ^b	2.486 ^b	13.536 ^b	
Df	2	1	1	1	1	1
Asymp. Sig.	.000	.021	.000	.115	.000	

Conclusion

This study reveals that T. A. Afolayan Wildlife Park holds significant potential for developing birdwatching as a sustainable ecotourism product. The park benefits from young, educated, and enthusiastic visitor base eager to engage in nature-based activities and willing to pay for guided birdwatching experiences. Yet, current infrastructure and service gaps alongside funding, staffing, and awareness challenges, must be addressed to achieve this potential. To take advantage of this chance, the park should focus on improving its infrastructure (bird hides, trails, signages), hiring and training experienced guides, and carrying out structured bird surveys to develop a strong species inventory. If strategic investments are made in infrastructure, capacity building, structured biodiversity monitoring, and community engagement, the park can successfully position itself as a leading institution-based wildlife park avitourism destination in Southwest Nigeria. This will not only generate revenue but also contribute to conservation awareness, biodiversity protection, and academic enrichment, ensuring that ecotourism growth in the park aligns with both local and global sustainability goals. The park management should develop revenue and funding mechanisms by using different pricing levels and guided tour packages to take advantage of visitors' willingness to pay.

Acknowledgement

This work was supported by the Tertiary Education Trust Fund (TETFund) through the 2022-2024 Institution Based Research (IBR) Grant (IBR FUTA/CRD/TETF/IBR/25/15). We are grateful to the Management of the Federal University of Technology Akure for facility support and conducive environment.

References

- Adeleke, R. & Ogunbanwo, M. (2024). Opportunities in Sustainable Avitourism: A Nigerian Perspective. *Journal of Ecotourism and Wildlife Conservation*, 18(2), 112–126.
- Adetola, B. O., Olaniyi, O. E., & Abifarin, A. S. (2024). Occurrence and habitat preference of wildanimals in T. A. Afolayan wildlife park, Nigeria. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v11i4.15783>
- Akyeampong, O., & Boakye, K. A. (2019). Avitourism in West Africa: Potentials and constraints. *Tourism Planning & Development*, 16(3), 293–308.

- Al-Emran, M., et al. (2025). The call of the wild: What draws birdwatching tourists to eco-avitoirism? *Current Issues in Tourism*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/13683500.2025.2544796> (Taylor & Francis Online)
- Basnet, D., P. Kandel, N. Chettri, Y. Yang, M.S. Lodhi, N.Z. Htun, K. Uddin & E. Sharma (2019). Biodiversity research trends and gaps from the confluence of three global biodiversity hotspots in the far-eastern Himalayas. *Int. J. of Eco*(1323419):14.: <https://doi.org/10.1155/2019/1323419>
- Basnet, D., Jianmei, Y., Dorji, T., Qianli, X., Lama, A. K., Maowei, Y., Ning, W., Yantao, W., Gurung, K., Rujun, L., Gupta, N., Kanwal, K. S., & Shaoliang, Y. (2021). Bird photography tourism, sustainable livelihoods, and biodiversity conservation: A case study from China. *Mountain Research and Development*, 41(2), D1–D9
- Beresford, A. E., Buchanan, G. M., Donald, P. F., & Butchart, S. H. (2020). The role of birds in biodiversity and ecosystem monitoring. *Biological Conservation*, 247, 108590.
- BirdLife International. (2023). World Bird Database: Nigeria Species List. Retrieved from www.birdlife.org
- Dóniz-Páez, J., & Pérez, N. M. (Eds.). (2023). El Hierro Island Global Geopark, Geoheritage, Geoparks and Geotourism: Birdwatching as a New Tourist Activity in El Hierro Geopark. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07289-5_9
- Eastough, A., Hughes, M., & Newsome, D. (2024). Investigating the extent that different recreational users of urban wetlands value birds and bird habitat. *International journal of geoheritage and parks*, 12(3), 434-445.
- Idowu (2010). Assessment of Fauna composition in the Federal University of Technology, Akure, Wildlife Park. A bachelor degree thesis in the Department of Ecotourism and Wildlife Management. pp. 21-26.
- Kim, S. S., Kim, M., & King, B. E. M. (2015). Push–pull factors in international birders' travel. *Tourism Management*, 48, 416–425. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.12.01>
- Lee, C. K., Lee, J. H., Kim, T. K., & Mjelde, J. W. (2010). Preferences and willingness to pay for bird-watching tour and interpretive services using a choice experiment. *Journal of Sustainable Tourism*, 18(5), 695–708. <https://doi.org/10.1080/09669581003602333> (Kyungpook National University(KNU))
- Oguntuase, B. G., & Agbelusi, E. A. (2013). Habitat structure of flat-headed cusimanse (*Crossarchus platycephalus*) in Futa Wildlife Park, Ondo state, Nigeria.
- Olaniyi, O. E., Esan, D. B., Odewumi, O. S., Oladeji, S. O., & Oyeleke, O. O. (2016). Ecotourism Resources Mapping of T.A. Afolayan Wildlife Park in Ondo State, Nigeria. Proceedings of NTBA/NSCB Joint Biodiversity Conference, 21, 31pp. Olaniyi et. al. (2017)
- Randler, C., & Großmann, N. (2022). Motivations for birdwatching scale – Developing and testing an integrated measure on birding motivations. *Frontiers in Bird Science*, 1, Article 1066003. <https://doi.org/10.3389/fbirs.2022.1066003> (Frontiers)
- Schwoerer, T., & Dawson, N. G. (2022). Small sight—Big might: Economic impact of bird tourism shows opportunities for rural communities and biodiversity conservation. *PLOS ONE*, 17(7), e0268594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268594>
- Singh, A. S., & Masuku, M. B. (2014). Sampling techniques & determination of sample size in applied statistics research: An overview. *International Journal of economics, commerce and management*, 2(11), 1-22.
- Steven, R., Morrison, C., & Castley, J. G. (2015). Birdwatching and avitoirism: A global review of research into its participant markets, distribution and impacts, highlighting future research priorities to inform sustainable avitoirism management. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(8–9), 1257–1276. <https://doi.org/10.1080/09669582.2014.924955> UNWTO (2022),

AN ELECTRONIC LOGBOOK SYSTEM FOR STUDENT INDUSTRIAL TRAINING: DESIGN, IMPLEMENTATION, AND USER EVALUATION

Idris Memunat Iyetunde

Department of Computer Science, University of Abuja, Nigeria

Akanbi, Bello Muhammed PhD

Department of Computer Science, University of Abuja, FCT, Nigeria

ABSTRACT

Student industrial training plays a vital role in bridging the gap between academic learning and professional practice. However, conventional paper-based logbooks used for documenting industrial training activities are often associated with challenges such as data loss, delayed verification, limited accessibility, and inefficient monitoring by academic supervisors. This study presents the design, implementation, and user evaluation of an electronic logbook system developed to enhance the documentation, monitoring, and management of student industrial training. The proposed web-based system was developed using HTML5, CSS3, JavaScript, PHP, and MySQL, providing a secure platform where students can record daily activities, supervisors can monitor progress remotely, and administrators can efficiently manage training records. To assess the system's effectiveness, a user evaluation was conducted using the Technology Acceptance Model (TAM), focusing on perceived usefulness, perceived ease of use, and user satisfaction. The findings indicate high levels of user acceptance, with participants reporting improved accessibility, more efficient record management, enhanced communication between students and supervisors, and a reduced administrative workload compared with the traditional paper-based approach. The study demonstrates that electronic logbook systems can significantly improve industrial training management while supporting digital transformation initiatives in higher education. The proposed system offers a scalable and practical solution for institutions seeking to modernize student industrial training processes and strengthen supervision, accountability, and documentation.

Keywords: Electronic logbook system, Student industrial training, SIWES, Web-based application, Technology Acceptance Model (TAM), User evaluation, Higher education, Digital transformation.

INAPPROPRIATE DIAGNOSTIC IMAGING REQUESTS: CAUSES, CONSEQUENCES, AND STRATEGIES FOR IMPROVEMENT: A NARRATIVE REVIEW

Mohammed Danyaro Rilwanu

Muhammad Abdullahi Jega

Department of Radiology, Federal Teaching Hospital, Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria
Department of Surgery, College of Health Sciences, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria

ABSTRACT

Aim: This narrative review aimed to examine the magnitude and patterns of inappropriate diagnostic imaging requests, identify their major causes and consequences, and evaluate strategies for improving imaging utilization, with particular attention to resource-limited settings.

Materials and Methods: Relevant literature published between January 2000 and August 2026 was identified through searches of PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar, and the Cochrane Library. Relevant guidance documents from recognized professional and international organizations were also reviewed. Priority was given to systematic and scoping reviews, multicentre studies, clinical audits, established appropriateness criteria, and professional guidelines. The literature was synthesized thematically in accordance with the principles of the Scale for the Assessment of Narrative Review Articles.

Results: Inappropriate diagnostic imaging encompasses overuse, underuse, misuse, avoidable repetition, premature imaging, and the selection of an unsuitable modality, protocol, or timing. Reported rates varied considerably according to the clinical setting, imaging modality, patient population, definition, and assessment criteria used. Major contributing factors included diagnostic uncertainty, limited familiarity with referral guidelines, defensive practice, patient expectations, inadequate clinical information, poor clinician–radiologist communication, limited access to previous examinations, and health-system constraints. The consequences included avoidable radiation and contrast exposure, diagnostic cascades arising from incidental findings, delayed appropriate care, increased healthcare expenditure, greater workload, and inefficient use of limited imaging capacity. Evidence-based referral guidelines, structured request systems, radiologist consultation and vetting, clinician education, clinical decision support, and regular audit with feedback may improve imaging utilization, although isolated interventions may produce limited or unsustained benefits.

Conclusion: Inappropriate diagnostic imaging is a multifactorial patient-safety and resource-utilization problem. Effective imaging stewardship requires coordinated and locally adaptable interventions that reduce low-value imaging without worsening underuse or restricting access to clinically indicated examinations. The ultimate objective should be to ensure that the right imaging examination is performed for the right patient, for the right clinical indication, and at the right time.

Keywords: clinical decision support, diagnostic imaging, imaging appropriateness, imaging stewardship, inappropriate imaging, referral guidelines, resource-limited settings

INTRODUCTION

Diagnostic imaging is an essential component of modern healthcare, contributing to disease detection, diagnostic confirmation, treatment planning, image-guided intervention, and follow-up. Despite major technological advances, access to imaging remains uneven, particularly in low- and middle-income countries (LMICs), where shortages of equipment, trained personnel, maintenance

capacity, and supporting infrastructure continue to limit the availability of essential services (Frija et al., 2021).

The clinical value of an imaging examination depends not only on its technical quality but also on whether it is appropriate for the individual patient and clinical circumstance. An appropriate examination should address a clearly defined clinical question, have a reasonable likelihood of influencing diagnosis or management, and provide sufficient expected benefit to justify its potential risks and costs. Imaging appropriateness is therefore closely related to the principles of justification and optimization. Justification concerns whether an examination should be performed, whereas optimization concerns how a justified examination should be performed to obtain the required diagnostic information while minimizing unnecessary exposure and other potential harms (International Atomic Energy Agency [IAEA], n.d.).

Inappropriate imaging extends beyond the performance of unnecessary examinations. It includes overuse, in which imaging provides little or no expected clinical benefit; underuse, in which an indicated examination is omitted or delayed; and misuse, in which imaging is warranted but an unsuitable modality, protocol, or timing is selected. Avoidable repetition, premature imaging, and inappropriate surveillance may also occur. These distinctions are particularly important in resource-limited settings, where efforts to reduce unnecessary imaging must not worsen existing barriers to clinically necessary examinations.

The causes of inappropriate imaging are multifactorial and may include diagnostic uncertainty, limited familiarity with referral guidelines, defensive practice, patient expectations, inadequate clinical information, poor clinician-radiologist communication, and limited access to previous examinations. Organizational and health-system factors may further influence requesting behaviour. Consequently, inappropriate imaging should not be viewed solely as a failure of individual clinical judgement.

The consequences affect both patients and healthcare services. Unjustified examinations may expose patients to avoidable radiation or contrast-related risks and may generate incidental findings that lead to further investigations and diagnostic cascades. Inappropriate imaging may also increase healthcare expenditure, staff workload, waiting times, and competition for limited imaging capacity. These concerns are particularly relevant in LMICs, where limited diagnostic capacity may coexist with both inappropriate utilization and substantial unmet need.

Several approaches have been developed to improve imaging utilization, including evidence-based referral criteria, structured request systems, radiologist consultation and vetting, clinician education, clinical decision support, and audit with feedback. However, differences in definitions, clinical settings, imaging modalities, and assessment standards have resulted in considerable variation in reported rates of inappropriate imaging and in the effectiveness of interventions.

This narrative review examines the concepts and patterns of inappropriate diagnostic imaging, its major causes and consequences, methods used to assess appropriateness, and strategies for improving imaging utilization. Particular attention is given to resource-limited settings, where imaging stewardship must balance the reduction of low-value examinations against the need to improve access to clinically indicated imaging.

RESEARCH AND FINDINGS

Literature Search and Review Approach

This article was conducted as a narrative review to provide a clinically oriented synthesis of evidence on inappropriate diagnostic imaging requests. The conduct of the review was informed by the Scale for the Assessment of Narrative Review Articles (SANRA), particularly its recommendations concerning the justification of the review, literature search, scientific reasoning, referencing, and presentation of relevant evidence (Baethge et al., 2019).

Relevant literature was identified through searches of PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar, and the Cochrane Library. Publications and guidance documents from

major professional and international organizations, including the American College of Radiology (ACR), European Society of Radiology (ESR), Royal College of Radiologists (RCR), IAEA, and World Health Organization (WHO), were also considered. The principal search covered publications from January 2000 to August 2026, with earlier landmark publications included where necessary to provide conceptual or historical context.

Search terms included combinations of "inappropriate imaging," "unnecessary imaging," "imaging overuse," "imaging underuse," "low-value imaging," "imaging appropriateness," "diagnostic imaging," "radiography," "ultrasound," "computed tomography," "magnetic resonance imaging," "referral guidelines," "clinical decision support," "audit," and "imaging stewardship." Reference lists of relevant reviews and primary studies were also examined for additional publications.

Priority was given to systematic and scoping reviews, multicentre studies, clinical audits, established appropriateness criteria, professional guidelines, and studies directly addressing the objectives of this review. Evidence from Africa and other resource-limited settings was specifically considered where available. The literature was synthesized thematically under concepts and classification, magnitude and patterns, causes, consequences, assessment of appropriateness, improvement strategies, resource-limited settings, and emerging developments.

As a narrative review, the search and study-selection process was not intended to be exhaustive. Formal duplicate screening, study-level risk-of-bias assessment, and meta-analysis were not performed. Considerable heterogeneity in definitions, clinical settings, modalities, and appropriateness standards should therefore be considered when interpreting and comparing findings across studies.

Concept and Classification of Inappropriate Diagnostic Imaging

Imaging appropriateness refers to whether a diagnostic examination is suitable for a particular patient and clinical circumstance. An appropriate examination should address a defined clinical question, use a suitable modality and protocol, and have a reasonable likelihood of contributing to diagnosis, treatment, or follow-up. The expected clinical benefit should outweigh the potential risks and costs.

Inappropriate imaging is commonly described in terms of overuse, underuse, and misuse. Overuse occurs when imaging is performed despite little or no expected clinical benefit. Underuse occurs when a clinically indicated examination is omitted or delayed. Misuse occurs when imaging is justified but an unsuitable modality, protocol, anatomical coverage, or timing is selected. These categories may overlap and should be interpreted within the clinical context.

Poor-quality requests should also be distinguished from inappropriate imaging. Incomplete clinical information may make a request difficult to assess, but it does not necessarily mean that the examination itself is inappropriate. Requests with insufficient information are therefore better classified as unassessable or inadequately documented unless appropriateness can otherwise be determined. Similarly, diagnostic yield should not be used as a substitute for appropriateness, because a clinically justified examination may yield normal findings while still contributing meaningfully to patient management.

For this review, inappropriate diagnostic imaging is considered to include overuse, misuse, unnecessary repetition, premature imaging, inappropriate follow-up, incorrect protocol selection, and failure to account for relevant patient-specific circumstances. Underuse is considered within the broader concept of inappropriate imaging practice, although it may occur because an indicated examination was never requested.

Table 1. Classification of inappropriate diagnostic imaging

Category	Description	Example
Overuse	Imaging is performed despite little or no expected clinical benefit.	Imaging uncomplicated acute low back pain without red-flag features.
Underuse	Clinically indicated imaging is omitted, delayed, or inaccessible.	Failure to obtain timely imaging for an urgent indication.
Misuse	Imaging is indicated, but the selected modality, protocol, or timing is unsuitable.	Requesting radiography when CT is required to answer the clinical question.
Unnecessary repetition	A recent examination is repeated without meaningful clinical change or another valid indication.	Repeating CT without reviewing relevant previous imaging.
Premature imaging	Imaging is performed before an appropriate period of observation or conservative management.	Early imaging for uncomplicated low back pain without red flags.
Inappropriate follow-up	Surveillance is performed at an unsuitable interval or using an unsuitable modality.	Re-imaging a stable incidental lesion earlier than recommended.
Incorrect protocol	The modality is appropriate, but the acquisition or contrast protocol is unsuitable.	Performing non-contrast CT when contrast enhancement is required.
Context-inappropriate imaging	Relevant patient-specific circumstances are inadequately considered.	Selecting an examination without adequately considering pregnancy or another relevant clinical factor.

Magnitude and Patterns of Inappropriate Diagnostic Imaging

The reported frequency of inappropriate diagnostic imaging varies considerably across clinical settings, modalities, and patient populations. Differences in study design and in the criteria used to determine appropriateness further complicate comparisons. Some studies assess only whether the requested modality is appropriate, whereas others also consider timing, protocol, previous imaging, and adequacy of the clinical information provided. A scoping review of methods used to measure imaging appropriateness demonstrated substantial methodological heterogeneity, making a single global prevalence estimate unreliable (Walther et al., 2023).

Patterns of inappropriate imaging also vary by modality and clinical setting. CT and MRI frequently receive attention because of their cost and technological complexity and, in the case of CT, exposure to ionizing radiation. However, inappropriate utilization also occurs with plain radiography and ultrasonography. Emergency departments may be particularly susceptible because imaging decisions are often made rapidly, sometimes with incomplete clinical information or limited access to previous examinations.

Recent multicentre evidence demonstrates that inappropriate requesting persists even in healthcare systems with structured electronic ordering. In the German Medical Imaging Decision and Support (MIDAS) study, 61,220 imaging requests were evaluated, with inappropriate requests reported in 7.32% of female patients and 6.08% of male patients (Dijk et al., 2026). These figures should be interpreted as setting-specific rather than as general estimates of inappropriate imaging.

Evidence from Africa remains comparatively limited. At the Kenyatta National Hospital Accident and Emergency Department in Kenya, 51.9% of 1,053 imaging requests were classified as appropriate and 34.6% as inappropriate, while 13.6% could not be matched to the ACR Appropriateness Criteria (Ahmed et al., 2022). Studies from Cameroon and South Africa have

similarly identified deficiencies in imaging requests and inappropriate utilization of CT and MRI (Becker et al., 2014; Fouche et al., 2021; Tambe et al., 2021).

Overall, the available evidence indicates that inappropriate imaging is an important but inconsistently measured problem. Reported rates should therefore be interpreted according to the clinical setting, imaging modality, patient population, and appropriateness standard employed. Studies should also distinguish clearly between requests that are inappropriate and those that cannot be reliably assessed because of inadequate clinical information or absence of a corresponding guideline.

Causes and Contributing Factors

Inappropriate diagnostic imaging is usually multifactorial, arising from interactions among clinician-, patient-, radiology-service-, and health-system-related factors. Diagnostic uncertainty is an important driver because clinicians may request imaging to increase confidence, exclude unlikely but serious conditions, or compensate for uncertainty in clinical assessment. Limited familiarity with referral guidelines and inadequate knowledge of imaging-related radiation may further contribute to inappropriate utilization. Studies have demonstrated important gaps in physicians' knowledge of radiation doses and associated risks, particularly for CT and investigations performed in emergency settings (Barnawi et al., 2018; Krille et al., 2010). Defensive practice may further lower the threshold for investigation where clinicians are concerned about missed diagnoses or medicolegal consequences (Zheng et al., 2023).

Patient expectations may also influence imaging decisions, particularly when imaging is perceived as necessary for diagnostic certainty or reassurance (Lim et al., 2019). Conversely, financial constraints, difficulties accessing imaging services, and other barriers may contribute to delayed or inadequate investigation, particularly in resource-limited settings.

The quality of clinical information and communication between referring clinicians and radiologists are equally important. Incomplete clinical histories, vague indications, failure to state the relevant clinical question, and inadequate information about previous investigations may make appropriateness difficult to determine and can result in unsuitable protocols or unnecessary repetition. Audits of radiology request forms have demonstrated persistent deficiencies in the provision of relevant clinical information (Akintomide et al., 2015). Timely radiologist consultation can help clarify the clinical question, recommend a more suitable examination, or determine when imaging is unlikely to provide meaningful benefit.

Health-system factors can reinforce these problems. Fragmented medical records, poor access to previous imaging, limited availability of referral guidelines, inadequate request-vetting systems, and weak audit mechanisms may contribute to inappropriate utilization. Electronic requesting can improve legibility and information retrieval but does not automatically ensure appropriateness. In resource-limited settings, shortages of imaging equipment and specialist expertise may additionally result in the use of an available modality when the preferred examination is inaccessible.

These factors demonstrate that inappropriate imaging should not be attributed solely to individual clinicians. Sustainable improvement requires interventions that address clinical decision-making, communication, information systems, institutional processes, and the availability of appropriate imaging services.

Consequences of Inappropriate Diagnostic Imaging

Inappropriate diagnostic imaging can adversely affect patients, healthcare services, and the allocation of limited resources. Unnecessary examinations involving ionizing radiation expose patients without a corresponding clinical benefit, while inappropriate use of contrast-enhanced examinations may result in avoidable contrast-related risks (Davenport et al., 2020). These concerns should be balanced against the substantial benefits of appropriately indicated imaging; the objective is to avoid unjustified exposure rather than discourage necessary examinations.

Inappropriate imaging may also initiate diagnostic cascades. Incidental or false-positive findings can lead to additional imaging, laboratory investigations, specialist consultations, surveillance, or invasive procedures without necessarily improving patient outcomes (Lumbreras et al., 2010). Conversely, selection of an unsuitable examination or protocol may provide false reassurance, fail to answer the relevant clinical question, and delay appropriate diagnosis or treatment. Underuse and delayed access to indicated imaging can similarly contribute to delayed diagnosis and management.

The consequences extend to healthcare systems. Low-value examinations consume appointment slots, staff time, equipment capacity, electricity, contrast materials, and financial resources that could otherwise be directed toward patients with stronger clinical indications. They may increase radiology workloads and waiting times and generate additional expenditure through downstream investigations. These effects are particularly important in resource-limited settings, where imaging capacity may already be inadequate and patients may bear a substantial proportion of diagnostic costs directly.

Inappropriate imaging therefore represents both a patient-safety and resource-utilization problem. Imaging stewardship should minimize examinations unlikely to provide meaningful benefit while ensuring timely access to investigations that are clinically necessary.

Assessment of Imaging Appropriateness

Assessment of imaging appropriateness requires consideration of the clinical indication, patient characteristics, previous investigations, expected diagnostic benefit, and suitability of the requested modality and protocol. Evidence-based appropriateness criteria, referral guidelines, expert radiologist review, and clinical decision-support systems are commonly used for this purpose.

The American College of Radiology (ACR) Appropriateness Criteria provide evidence-based recommendations for selecting imaging examinations across a wide range of clinical scenarios (American College of Radiology [ACR], n.d.). Individual imaging procedures are rated on a nine-point scale: ratings of 7-9 indicate that an examination is "Usually Appropriate," 4-6 indicate "May Be Appropriate," and 1-3 indicate "Usually Not Appropriate." The criteria therefore provide a standardized framework for clinical decision-making, research, and audit.

The Royal College of Radiologists' iRefer guidelines similarly provide evidence-based guidance to support appropriate imaging referrals (Royal College of Radiologists [RCR], n.d.). In Europe, ESR iGuide was developed by adapting established appropriateness criteria to the European clinical environment and integrating recommendations into electronic clinical decision-support systems (European Society of Radiology [ESR], 2019).

Standardized criteria nevertheless have limitations because not every clinical presentation corresponds precisely to an available guideline. Expert radiologist review remains important in complex or uncertain situations, particularly when previous imaging, comorbidities, available resources, or other patient-specific circumstances affect examination selection.

For research and audit purposes, investigators should clearly state the method used to determine appropriateness. Requests with insufficient clinical information or without a corresponding guideline should preferably be classified as unassessable rather than automatically considered inappropriate.

Strategies for Improving Imaging Appropriateness

Improving imaging appropriateness requires interventions that support clinical decision-making without creating barriers to necessary examinations. Evidence-based referral guidelines can improve the appropriateness of imaging utilization and support more consistent examination selection (Tay et al., 2025). However, because inappropriate imaging results from multiple interacting factors, sustainable improvement is more likely when complementary strategies are incorporated into routine clinical practice.

Electronic clinical decision-support systems can make appropriateness recommendations available at the point of requesting, identify potentially unsuitable examinations, and suggest alternatives. Their effectiveness, however, depends on workflow integration and clinician engagement. In the MIDAS cluster-randomized clinical trial involving 26 departments at three German university hospitals, implementation of a clinical decision-support system did not significantly reduce inappropriate imaging requests compared with structured electronic ordering without decision-support recommendations (Dijk et al., 2025).

Radiologist consultation and request vetting can improve examination selection by clarifying the clinical question, identifying unnecessary repetition, modifying unsuitable protocols, or recommending alternative modalities. Where radiologist numbers are limited, selective vetting of CT, MRI, specialized examinations, and requests with unclear indications may be more feasible than reviewing every request.

Clinician education can improve awareness of imaging indications, referral guidelines, and imaging-related risks, although education alone may have limited or temporary effects. Audit with feedback provides an additional mechanism for identifying common patterns of inappropriate utilization, implementing targeted interventions, and evaluating whether improvements are sustained.

Overall, imaging stewardship should combine evidence-based guidance, effective clinician-radiologist communication, appropriate request vetting, education, decision support, and repeated audit. The objective should be to reduce low-value or unsuitable examinations while maintaining timely access to clinically indicated imaging.

Imaging Appropriateness in Resource-Limited Settings

Improving imaging appropriateness presents particular challenges in LMICs, where limited diagnostic capacity may coexist with inappropriate utilization and substantial unmet need. Shortages and unequal distribution of imaging equipment, trained personnel, maintenance services, and supporting infrastructure can restrict access to clinically necessary examinations (Ngoya et al., 2016). Consequently, imaging stewardship in these settings must address both overuse and underuse rather than focusing exclusively on reducing examination numbers.

International appropriateness criteria and referral guidelines provide useful frameworks for imaging selection, but their application may require adaptation to local circumstances. Recommended modalities may be unavailable, unaffordable, or inaccessible within a clinically acceptable period, while differences in disease patterns, referral pathways, and specialist availability may influence examination selection. In the Kenyan study by Ahmed et al. (2022), 13.6% of imaging requests could not be matched to the ACR Appropriateness Criteria, illustrating one potential limitation of applying externally developed criteria without appropriate contextual interpretation.

Resource-intensive electronic decision-support systems may also be difficult to implement where electronic health records and information-technology infrastructure are limited. More feasible approaches may include locally adapted referral pathways for common clinical presentations, structured request forms, selective radiologist vetting of advanced imaging, improved access to previous examinations, clinician education, and periodic audit with feedback.

Importantly, measures intended to reduce inappropriate utilization should not create additional barriers to clinically indicated imaging. Further multicentre studies from Africa and other resource-limited regions are needed to establish local patterns of imaging utilization and identify stewardship interventions that are effective, feasible, and sustainable.

Emerging Developments and Future Directions

Advances in digital health and artificial intelligence (AI) are creating new opportunities to support appropriate imaging utilization. AI-enhanced clinical decision-support systems may assist in interpreting clinical information, identifying potentially inappropriate requests, recommending

suitable examinations, and improving integration of imaging guidance into clinical workflows (Bizzo et al., 2019).

Large language models have also been investigated as potential tools for imaging referral and examination selection. Early studies have demonstrated their ability to generate imaging recommendations that may correspond with established appropriateness criteria in selected clinical scenarios (Barash et al., 2023). However, performance varies across models, clinical tasks, and the quality of information provided. These systems should therefore complement rather than replace clinician and radiologist judgement, with appropriate validation and human oversight remaining essential.

Environmental sustainability is another emerging aspect of imaging stewardship. Diagnostic imaging consumes energy and other resources, and reducing genuinely unnecessary examinations may provide environmental as well as clinical and economic benefits (McAlister et al., 2022). Sustainability considerations, however, should not discourage examinations that are clinically justified.

Future research should improve the consistency with which imaging appropriateness is defined and measured. Studies should clearly identify the assessment criteria used, distinguish inappropriate from unassessable requests, and determine whether interventions produce sustained improvements in patient care rather than simply reducing examination numbers. More multicentre evidence is particularly needed from Africa and other resource-limited regions.

Ultimately, research should move beyond estimating the proportion of inappropriate requests and determine whether improved imaging decisions translate into better patient outcomes, more efficient use of resources, and more equitable access to diagnostic imaging.

CONCLUSION

Inappropriate diagnostic imaging is a multifactorial problem that includes overuse, underuse, misuse, unnecessary repetition, and inappropriate selection of imaging modalities or protocols. Its consequences extend beyond avoidable patient exposure to include diagnostic cascades, delayed appropriate care, increased healthcare expenditure, greater workload, and inefficient use of limited imaging resources.

Improving imaging appropriateness requires a coordinated approach that combines evidence-based referral guidance, effective clinician-radiologist communication, appropriate request vetting, clinician education, clinical decision support, and regular audit with feedback. In resource-limited settings, these strategies should be adapted to local circumstances and implemented carefully to avoid worsening existing underuse or delaying clinically necessary examinations.

Ultimately, imaging stewardship should not be judged simply by a reduction in the number of examinations performed. The objective should be to ensure that patients receive the most appropriate imaging examination, using the appropriate protocol, for a clearly defined clinical indication and at the appropriate time. Future efforts should focus on whether improved imaging decisions translate into better patient outcomes, more efficient use of healthcare resources, and more equitable access to diagnostic imaging.

Ethical approval

Not applicable. This narrative review was based exclusively on previously published literature and publicly available guidance documents. It did not involve human participants, identifiable patient information, biological materials or experimental animals.

Consent for publication

Not applicable

Availability of data and materials

No new dataset was generated or analyzed. All information considered in this review was obtained from the publications and publicly available documents cited in the reference list.

Competing interests

The authors declare no competing interests

Funding

No specific funding was received from any public, commercial or not-for-profit organization for the preparation of this review.

REFERENCES

- Ahmed, S. S., Onyambu, C. K., Omamo, E., & Odhiambo, A. (2022). Appropriateness of imaging modality choice by doctors at the Kenyatta National Hospital's Accident and Emergency Department. *South African Journal of Radiology*, 26(1), 2367. <https://doi.org/10.4102/sajr.v26i1.2367>
- Akintomide, A. O., Ikpeme, A. A., Ngaji, A. I., Ani, N. E., & Udofia, A. T. (2015). An audit of the completion of radiology request forms and the request practice. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 4(3), 328-330. <https://doi.org/10.4103/2249-4863.161308>
- American College of Radiology. (n.d.). ACR Appropriateness Criteria. Retrieved August 10, 2026, from <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Clinical-Tools-and-Reference/Appropriateness-Criteria>
- Baethge, C., Goldbeck-Wood, S., & Mertens, S. (2019). SANRA-a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review*, 4, 5. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>
- Barash, Y., Klang, E., Konen, E., & Sorin, V. (2023). ChatGPT-4 assistance in optimizing emergency department radiology referrals and imaging selection. *Journal of the American College of Radiology*, 20(10), 998-1003. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2023.06.009>
- Barnawi, R. A., Alrefai, W. M., Qari, F., Aljefri, A., & Hagi, S. K. (2018). Doctors' knowledge of the doses and risks of radiological investigations performed in the emergency department. *Saudi Medical Journal*, 39(11), 1130-1138. <https://doi.org/10.15537/smj.2018.11.23048>
- Becker, J., Jenkins, L. S., de Swardt, M., Sayed, R., & Viljoen, M. (2014). Appropriateness of computed tomography and magnetic resonance imaging scans in the Eden and Central Karoo districts of the Western Cape Province, South Africa. *South African Medical Journal*, 104(11), 762-765. <https://doi.org/10.7196/SAMJ.8158>
- Bizzo, B. C., Almeida, R. R., Michalski, M. H., & Alkasab, T. K. (2019). Artificial intelligence and clinical decision support for radiologists and referring providers. *Journal of the American College of Radiology*, 16(9 Pt B), 1351-1356. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.06.010>
- Davenport, M. S., Perazella, M. A., Yee, J., Dillman, J. R., Fine, D., McDonald, R. J., Rodby, R. A., Wang, C. L., & Weinreb, J. C. (2020). Use of intravenous iodinated contrast media in patients with kidney disease: Consensus statements from the American College of Radiology and the National Kidney Foundation. *Radiology*, 294(3), 660-668. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019192094>
- Dijk, S. W., Wollny, C., Barkhausen, J., Jansen, O., Mildenerberger, P., Halfmann, M. C., Stroeder, J., Rizopoulos, D., Hunink, M. G. M., & Kroencke, T. (2025). Evaluation of a clinical decision support system for imaging requests: A cluster randomized clinical trial. *JAMA*, 333(14), 1212-1221. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.27853>
- Dijk, S. W., Wollny, C., Kroencke, T., & Hunink, M. G. M. (2026). Sex differences in inappropriate imaging requests: Insights from the Medical Imaging Decision And Support (MIDAS) study. *European Radiology*, 36(4), 3292-3299. <https://doi.org/10.1007/s00330-025-12088-w>

- European Society of Radiology. (2019). Methodology for ESR iGuide content. *Insights into Imaging*, 10, 32. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0720-z>
- Fouche, P. E., Jenkins, L. S., & Vermeulen, A. (2021). Appropriateness of computed tomography and magnetic resonance imaging scans in a rural regional hospital in South Africa: A 6-year follow-up study. *South African Medical Journal*, 111(1), 46-51. <https://doi.org/10.7196/SAMJ.2021.v111i1.14860>
- Frija, G., Blažić, I., Frush, D. P., Hierath, M., Kawooya, M., Donoso-Bach, L., & Brkljačić, B. (2021). How to improve access to medical imaging in low- and middle-income countries? *EClinicalMedicine*, 38, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.101034>
- International Atomic Energy Agency. (n.d.). Justification and optimization. Retrieved August 10, 2026, from <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/radiology/justification>
- Krille, L., Hammer, G. P., Merzenich, H., & Zeeb, H. (2010). Systematic review on physician's knowledge about radiation doses and radiation risks of computed tomography. *European Journal of Radiology*, 76(1), 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.08.025>
- Lim, Y. Z., Chou, L., Au, R. T. M., Seneviwickrama, K. L. M., Cicuttini, F. M., Briggs, A. M., Sullivan, K., Urquhart, D. M., & Wluka, A. E. (2019). People with low back pain want clear, consistent and personalised information on prognosis, treatment options and self-management strategies: A systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 65(3), 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.05.010>
- Lumbreras, B., Donat, L., & Hernández-Aguado, I. (2010). Incidental findings in imaging diagnostic tests: A systematic review. *British Journal of Radiology*, 83(988), 276-289. <https://doi.org/10.1259/bjr/98067945>
- McAlister, S., McGain, F., Petersen, M., Story, D., Charlesworth, K., Ison, G., & Barratt, A. (2022). The carbon footprint of hospital diagnostic imaging in Australia. *The Lancet Regional Health - Western Pacific*, 24, 100459. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2022.100459>
- Ngoya, P. S., Muhogora, W. E., & Pitcher, R. D. (2016). Defining the diagnostic divide: An analysis of registered radiological equipment resources in a low-income African country. *Pan African Medical Journal*, 25, 99. <https://doi.org/10.11604/pamj.2016.25.99.9736>
- Royal College of Radiologists. (n.d.). iRefer: Making the best use of clinical radiology. Retrieved August 10, 2026, from <https://www.rcr.ac.uk/our-services/irefer/>
- Tambe, J., Onana, Y., Dongmo, S., Nguefack-Tsague, G., & Ongolo-Zogo, P. (2021). Health insurance ownership and quality of computed tomography requests: Experience from a peripheral referral hospital in Cameroon. *Radiology Research and Practice*, 2021, 9959114. <https://doi.org/10.1155/2021/9959114>
- Tay, Y. X., Foley, S., Killeen, R., Ong, M. E. H., Chen, R. C., Chan, L. P., Mak, M. S., & McNulty, J. P. (2025). Impact and effect of imaging referral guidelines on patients and radiology services: A systematic review. *European Radiology*, 35(1), 532-541. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-10938-7>
- Walther, F., Eberlein-Gonska, M., Hoffmann, R. T., Schmitt, J., & Blum, S. F. U. (2023). Measuring appropriateness of diagnostic imaging: A scoping review. *Insights into Imaging*, 14(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01409-6>
- Zheng, J., Lu, Y., Li, W., Zhu, B., Yang, F., & Shen, J. (2023). Prevalence and determinants of defensive medicine among physicians: A systematic review and meta-analysis. *International Journal for Quality in Health Care*, 35(4), mzad096. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzad096>

THE EVOLUTION OF MINIMUM ENERGY PERFORMANCE STANDARDS AND ENERGY LABELLING IN MOROCCO: IMPLEMENTATION CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

Chaima MENDOUB

Hassan II University, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials (LCPMA), Geomaterials, Energy Efficiency and Environment Team (G3E), Casablanca, Morocco

ORCID ID: 0009-0005-4951-5763

Assoc. Prof. Dr. Laila LAASRI

Hassan II University, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials (LCPMA), Geomaterials, Energy Efficiency and Environment Team (G3E), Casablanca, Morocco

ORCID ID: 0000-0001-9084-0246

ABSTRACT

Minimum Energy Performance Standards (MEPS) and energy labelling are internationally recognized policy instruments for improving the energy efficiency of household appliances and reducing electricity consumption. Over the past decade, Morocco has progressively strengthened its regulatory framework in line with its national energy transition objectives. This paper aims to examine the evolution of Morocco's MEPS and energy labelling framework, highlight the main regulatory developments, and discuss key factors that can further enhance the effectiveness of these policies.

The study adopts a qualitative policy analysis based on a comprehensive review of scientific literature, Moroccan laws and regulations, official institutional reports, and publications from international organizations. In addition, a comparative analysis of international best practices is conducted to identify policy approaches that could support the continued development of Morocco's energy efficiency framework.

The review highlights the significant progress achieved in establishing Morocco's regulatory framework for appliance energy efficiency. It also identifies several factors recognized in the international literature as essential for the effective implementation of MEPS and energy labelling programmes, including market surveillance, product compliance verification, consumer awareness, stakeholder engagement, and the periodic revision of performance requirements to keep pace with technological progress and evolving international best practices. The continued development of Morocco's MEPS and energy labelling framework can benefit from integrating these key implementation factors into future policy actions. Strengthening regulatory implementation, promoting consumer awareness, and encouraging continuous policy improvement will contribute to increasing the adoption of energy-efficient appliances and supporting Morocco's long-term energy transition objectives.

Key Words: Minimum Energy Performance Standards (MEPS); Energy Labelling; Energy Efficiency; Energy Policy; Morocco; Sustainable Development.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS ROLE IN COMBATING POVERTY: OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

PhD Roxana Mihaela Moisoiu

U.S.P.E.E „C. Stere” Chişinău, Moldova

ID orcid 0009-0005-0515-0432

Prof.Colegiul German”Goethe”

Bucureşti

România

UDC - 004.8:343.98:34

DOI: to be assigned

JEL 14

Abstract

Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative technological force with significant potential to contribute to poverty reduction and sustainable development. Beyond its applications in economic and technological sectors, AI can support the identification, assessment, and prevention of the structural factors associated with poverty by enabling more efficient analysis of large-scale socioeconomic data. Its capacity to identify vulnerable populations, predict economic risks, optimize the allocation of public resources, and improve access to essential services creates new opportunities for developing more targeted and effective anti-poverty policies.

This paper examines the role of Artificial Intelligence in combating poverty, with particular emphasis on its potential contribution to social protection, education, healthcare, employment, financial inclusion, and public administration. AI-based systems can facilitate the early identification of households at risk of poverty, improve the distribution of social assistance, support labor-market integration, and contribute to evidence-based policymaking. Furthermore, AI can assist governments and international organizations in monitoring socioeconomic inequalities and evaluating the effectiveness of poverty-reduction programs.

However, the integration of AI into poverty-reduction strategies also raises significant challenges. Limited access to digital technologies, algorithmic bias, insufficient data quality, privacy concerns, and the digital divide may reinforce existing social and economic inequalities rather than reduce them. Consequently, technological innovation must be accompanied by appropriate regulatory frameworks, transparency, human oversight, digital education, and equitable access to AI-based services.

The paper argues that AI should be understood not as a substitute for social and economic policies, but as a complementary instrument capable of strengthening their effectiveness. Its responsible and inclusive deployment can contribute to addressing the multidimensional nature of poverty and supporting the achievement of the Sustainable Development Goals. The future impact of AI on poverty reduction will therefore depend not only on technological progress, but also on the capacity of governments and international institutions to ensure that the benefits of artificial intelligence are accessible to vulnerable populations and distributed in an equitable and socially responsible manner.

Keywords: Artificial Intelligence; poverty reduction; sustainable development; social protection; digital inclusion; economic inequality; vulnerable populations; AI governance; Sustainable Development Goals.

**SUSTAINABILITY STRATEGIES IN CONTEMPORARY BUSINESS MANAGEMENT:
INTEGRATING ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND GOVERNANCE (ESG)
PRINCIPLES IN CORPORATE PLANNING (A STUDY OF NIGERIAN NATIONAL
PETROLEUM COMPANY LTD., ABUJA, NIGERIA)**

DR CHUKWUEMEKA G. EME

Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences National Open
University of Nigeria

PhD Student, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences,
National Open University of Nigeria

Abstract

This study delves into the ways ESG concepts are being incorporated into modern organizational management, shedding light on how they are essential for achieving sustainability and profitability in the long run. Businesses may use ESG principles as a guide to tackle environmental issues, improve society, and establish strong governance processes. In addition to discussing the difficulties that businesses have when trying to use ESG techniques, the research looks at how these strategies affect financial results, risk management, and stakeholder involvement. There is mounting evidence that businesses with robust ESG processes often beat their competitors, and the significance of ESG integration has grown as a result of global trends and regulatory demands. This paper provides practical advice for firms looking to improve their sustainability strategy and outlines best practices for successful ESG integration via literature study and analysis of case studies. The survey methodology was adopted for this study. Primary data collection using the questionnaire and

interview technique was adopted in collecting data from 120 respondents. This sample size was arrived at using a simple random sampling technique of 10% of total population of 1,200 employees of the study area. Tables were used in the presentation of the data while the mean ($\bar{x}$) and standard deviation (SD) were used in the analysis of data. Cronbach alpha coefficient of 0.70, was adopted to test the reliability of the instrument used. The independent t-test was adopted to test the hypothesis for the study while the SPSS Version 26 was utilized in further analysis of study data. The research shows that organizations need to make sure their sustainability efforts are supporting their larger strategic goals, which means they need to link their ESG goals with their entire organizational objectives. In order to help organizations navigate the difficult world of sustainability, this study attempts to provide a path for ESG integration. By doing so, they may eventually contribute to increased performance.

Keywords: Sustainability, Environmental, Social, and Governance (ESG). Tripple Bottom Line, Risk Management, Corporate Social Responsibility (CSR)

1.1 Background to the Study

From an afterthought to a top strategic objective, sustainability is now an essential factor in modern organizational management. A growing number of businesses throughout the globe are realizing they need to change the way they do business to be more environmentally conscious, socially responsible and accountable. To tackle these sustainability difficulties, firms may use the ESG framework, which integrates environmental, social, and governance principles. Not only do ESG principles aid in risk mitigation, but they also provide new potential for value creation, boost

reputation, and guarantee sustainability in the long run. International accords like the Paris Agreement and domestic rules requiring more openness and responsibility from companies are propelling this change. It has been seen in the market that organizations that prioritize environmental, social, and governance (ESG) issues tend to have superior financial performance, employee engagement, risk management, and consumer loyalty, over time compared to their competitors.

Sustainability management is about stakeholders' view of corporate governance (Davis, et al., 2011; Donaldson et al. 2013; Clarkson 2012) and has been a subject of intense debate in academic literature. According to the United Nations World Conference on the Environment & Development Report, WCED (1987:43) popularly referred to as the Brundtland Report, sustainable development, is viewed as development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs. The concern on sustainability reflects the way managers run the companies, as well as the

behavior of worldwide societies towards sustainable practices or actions. The commitment to creating organizational wealth in a manner that is economically, technologically, and socially sustainable, challenges conventional thinking about nature and sources of corporate success (Post et al., 2015, p.214). There is actual relationship amongst markets, corporations, government and sustainability, in which the government plays regulatory role in sustainability and environmental standards provision. Wilkinson and Hill (2007) describe how such complex relationship is predominant in most sustainable actions and corporate plan. They also stressed the fact that governments cannot solve the world's natural problems alone, if the economic environment is unsupportive. With organizations going global, government control on businesses has reduced. Businesses are faced with commercial pressures to adhere to environmental practices; such as customers complaining of depletion of non-renewable resources and accuse businesses of disrupting environmental scene. Also, there are internal pressures on organizations relating to sustainability of human resources, which manifests on staff turnover, decreasing firm loyalty, increasing work hours and stress levels, and levels of satisfaction.

Wilkinson and Hill (2007) affirm that for an organization to ensure long-term business success and ecological survival; human and sociological sustainability need to be addressed. Lo and Shen (2007) in their study on some US firms, finds that a strong interaction of corporate sustainability and sales growth in firm value exist. Post et al, (2002) provide some preliminary evidence that support the proposition that corporation which chooses CSR may perform better than those that continue to embrace a more traditional management perspective. Verschoor (2008) in a study of 500 public corporations found that those that mentioned their commitment to interests and codes of conduct in their annual reports (more than 100 firms) reported superior financial performance to those that did not. Another study indicates that managerial attention to employee and customer stakeholders is associated with favorable financial performance (Berman et al. 2009; Sam (2011) also affirms that adhering to sustainability principles outperform those that do not. These assertions suggest that organizations with marketable sustainable development strategies are more likely to be rewarded by investors with a higher valuation in the financial markets. Paramanathan et al. (2004) in relating sustainability and technology management, stress relationship between implementation of industrial sustainability and contribution technology management research has to offer. Also, Melville (2010) looks at information systems innovation for environmental sustainability and demonstrates the critical role information

system can exert on beliefs about the environment, in creating possibilities to sustainable processes and practices in organizations, and in improving environmental economic performance. Aras and Crowther (2008) discuss how corporate governance is fundamental to continuing operation of any corporation. In the same vein, sustainability is also fundamental to continuing operation of any corporation.

The need for substantial changes to company operations, possible upfront expenses, and the intricacy of assessing and reporting, ESG concepts are used in modern organizational management, how ESG strategies affect company performance, and how to effectively integrate ESG are the main goals of this research. It aims to answer important concerns about ESG principles, such as what they are, how they affect the sustainability and performance of businesses, how to integrate them effectively, and what obstacles businesses encounter. Businesses seeking to adopt ESG practices will find a road map in the study's analysis of successful examples and case studies. The end goal is for ESG goals to be in sync with corporate objectives so that sustainability efforts help achieve larger strategic goals, boost performance, and benefit society.

1.2 Statement of the Problem

Managers within organizations are coming under increased pressure to not only reduce costs, but also to minimize the environmental impacts on their operations. Adopting tactics and procedures that boost a company's profitability while simultaneously favourably impacting society and the environment is what we mean when we talk about sustainability in business management. For a business to be socially sustainable, it must prioritize the happiness of its workers, consumers, and neighbours. Human rights, nowadays are starting to understand the value of fostering inclusive and supportive workplaces, investing in company's capacity to be run in an ethical and transparent manner is a key component of its governance sustainability.

Compliance with rules and regulations, competent leadership, and effective risk management are all part of this. In order to keep a company's reputation intact and earn the confidence of its stakeholders, good governance processes are crucial. Incorporating ESG (environmental, social, and governance) concepts into corporate planning is now essential for success in the long run. More and more, stakeholders like investors, customers, and government agencies are pressuring businesses to show they care about sustainability. Therefore, companies that

put an emphasis on ESG considerations have a higher chance of attracting investors, improving their brand image, and gaining a competitive edge. Ultimately, the goal of sustainable business management is to provide long-term value for the organization and for society at large. Businesses may secure their own long-term prosperity and resilience while also making a positive impact on the planet via the adoption of sustainable practices.

1.3 Objectives of the Study

The main objective of this paper was to examine the sustainability strategies in contemporary business management: integrating environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning (a study of NNPC Limited)/ The specific objectives which the paper sought to achieve are to:

- i. determine the impact of sustainability strategies on contemporary business management;
- ii. examine the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning;
- iii. evaluate the importance of the environmental, social, and governance (ESG) principles in achieving organizational sustainability and profitability;
- iv. assess the role of NNPC-Headquarters Abuja, FCT in the application of the

environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning;

v. identify the challenges and implications for the NNPC Headquarters Abuja FCT in its application of the ESG principles in corporate planning.

1.4 Research Questions

The following questions were set to be addressed by the study.

- i. What is the impact of sustainability strategies on contemporary business management?
- ii. What are the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning?
- iii. What is the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles in achieving organizational sustainability and profitability?
- iv. What is the role of NNPC Headquarters Abuja, FCT in the application of the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning?
- v. What are the challenges and implications for the NNPC Headquarters Abuja FCT. in its application of the ESG principles in corporate planning?

1.5 Statement of Hypothesis

The following statements were formulated in accordance with the research objectives, and will be tested at 0.05 Alpha level of significance.

Ho1: *There is no statistically significant impact of sustainability strategies on contemporary business management;*

Ho2: *There is no statistically significant impact of the environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning.*

Ho3: *There is no statistically significant impact of the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability.*

Ho4: *There is no statistically significant impact of the role of NNPC Headquarters, Abuja FCT in the application of ESG principles on corporate planning.*

Ho5: *There is no statistically significant impact of the challenges and implications for the NNPC Limited in its application of ESG principles on corporate planning.*

1.6 Scope and Limitations

The result of this research is of importance to the management of the corporate organizations, the NNPC Limited itself, and the staff and the government as well as the general public will also be interested in the result of the study. The NNPC Limited itself will benefit from the result of the research as it will help them to do self-assessment performance and identify

where it may have to take corrective measures. The staff of the NNPC Limited will in turn benefit from the result of the study as they will be able to know the different methods of risk identification, assessment, and monitoring available to them.

This study is significant in that the findings would be of value to businesses to help them understand the significance of environmental, social, and governance (ESG) principles, adopting and implementing ESG principles in an organization. ESG is important for businesses for several reasons, including, risk mitigation and business sustainability. ESG implementation helps businesses mitigate risks by identifying and addressing environmental, social, and governance factors such as climate change impacts, labour rights violations, corruption and bribery risks, diversity and inclusion practices, and regulatory compliance issues that could potentially impact a company's operations, finances, and reputation.

Businesses can bolster their resilience and sustainability by effectively managing these risks, thus minimizing potential adverse impacts on their long-term success.

Businesses can also increase their investment and opportunities potentials by allowing investors to assess a target's ESG behaviour as part of the due diligence process prior to investment. By incorporating ESG principles into their practices, organizations can demonstrate their commitment to comprehensively addressing stakeholder expectations. By acknowledging the environmental impact of their activities and the associated risks, organizations can contribute to overall environmental sustainability. Prioritizing ESG principles enables organizations to build trust and credibility with their stakeholders and the public, resulting in a positive reputation within the relevant markets. The application of the ESG principles in corporate planning can equally lead to attraction and retention of talent. The social aspect of ESG emphasizes employee welfare, which enables organizations to attract and retain top talent by showcasing a commitment to employee well-being, diversity, equality, and inclusion.

This study focuses on examining sustainability strategies in contemporary business management: integrating environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning, adopting a case study of NNPC Limited. Despite the comprehensive approach of this study, there are several limitations that must be acknowledged. One significant limitation is the availability and quality of data from corporate organizations. The study relies on data from these organizations, which may vary in terms of transparency and reporting standards, particularly concerning their remote work and virtual team policy. This limitation could restrict the depth and accuracy of the analysis. Another limitation is related to the generalizability of the findings. The study focuses on a specific corporate organization (NNPC Limited) which is a major regulatory institution for the oil and gas industry in Nigeria.

1.7 Operational Definition of Terms

The following operational terms were defined as used in this study.

Sustainability: Sustainability is concerned with the well-being of future generations and in particular with irreplaceable natural resources.

Sustainability Strategies: They are the well-articulated plans aimed at achieving the goals and objectives of sustainability. A good example is the United Nations Millenium Development Goals (MDGs).

Business Management: This involves planning, leading, coordinating, and controlling the activities of organizational members in order to achieve the organization's aims and objectives.

Environmental Factors: These are the negative climatic and natural occurrences which may adversely affect business operations. Such environment factors that may adversely affect business operations may include climate change, global warming, earthquakes, erosion, landslides, etc.

Social Factors: Social factors encompasses both interactions among people and their collective co-existence. All spheres of human activities are shaped by interactions between persons either individually or collectively.

Governance Factors: Governance is factored into credit ratings in the sense that it reflects and influences management behavior and their dealings with stakeholders. The key factors are ownership structure, and financial structure. Ownership and financial structures include institutional investors, directors, and foreign investors.

2.0 Literature Review

2.1.1 Concept of Environmental, Social, and Governance (ESG) Principles

In today's increasingly interconnected and environmentally conscious world, businesses are facing growing pressure to integrate environmental, social, and governance (ESG) factors into their operations (Simpa et al., 2024). This introductory section serves to elucidate the significance of ESG integration within business management, offering a clear overview of the strategic framework proposed in this paper which aims to guide financial professionals in effectively incorporating ESG considerations into their organizations' strategies. ESG integration refers to the systematic incorporation of environmental, social, and governance factors into business strategies, decision-making processes, and performance evaluation metrics (Solomon et al., 2024). Environmental factors encompass issues such as climate change mitigation, resource conservation, and pollution reduction/Social factors include labor practices, human rights, community engagement, and diversity and inclusion initiatives. Governance factors pertain to the structure, transparency, and accountability of corporate governance practices, including board diversity, executive compensation, and shareholder rights (Obasi et al., 2024). ESG integration goes beyond mere compliance with regulations, it involves embedding sustainability principles and ethical considerations into the core of business operations. This holistic approach acknowledges the interconnectedness of environmental, social, and governance issues and recognizes their impact on long-term business sustainability and stakeholder value (Simpa et al., 2024). The importance of ESG integration in business models cannot be overstated. In recent years, there has been a paradigm shift in the way businesses perceive sustainability. ESG considerations are increasingly recognized as critical drivers of financial performance, risk management, and long-term value creation.

Firstly, integrating ESG factors into business models can enhance financial performance. Studies have shown that companies with strong ESG performance often outperform their peers financially, attracting investors who prioritize sustainable and responsible investments. Additionally, ESG integration can lead to cost savings through improved resource efficiency, reduced regulatory risks, and enhanced brand reputation, which can translate into competitive advantages in the market (Simpa et al., 2024). Secondly, ESG integration is crucial for managing risks effectively. Environmental risks, such as climate change impacts and resource scarcity, social risks related to labor disputes or community conflicts, and governance risks stemming from poor oversight or unethical practices, can all have significant implications for business continuity and reputation. By proactively addressing these risks and implementing robust ESG management practices, companies can mitigate potential negative impacts and safeguard their long-term viability. Thirdly, ESG integration is essential for maintaining and enhancing corporate reputation and brand value. In today's digital age, consumers, investors, employees, and other stakeholders are increasingly scrutinizing companies' ESG performance and holding them accountable for their actions (Simpa et al., 2024). Companies that demonstrate a commitment to sustainability, ethical

business practices, and social responsibility can build trust and loyalty among stakeholders, differentiate themselves in the marketplace, and strengthen their brand reputation.

The strategic framework proposed in this paper provides a structured approach for financial professionals to integrate ESG considerations into business models effectively. It consists of several key components; Assessing Materiality, Identifying and prioritizing material ESG issues that are most relevant to the organization's business model, industry and stakeholders, Integration into Business Strategy, aligning ESG goals and initiatives with overall business objectives, embedding ESG considerations into decision-making processes, and fostering a culture of sustainability throughout the organization (Simpa et al., 2024). Establishing key performance indicators (KPIs) and metrics to track ESG performance, ensuring transparent reporting to stakeholders, and leveraging data to drive continuous improvement. Engaging with stakeholders, including investors, customers, employees, suppliers, and communities, to understand their expectations, address concerns, and build mutually beneficial relationships.

Collaboration with industry peers, NGOs, and other stakeholders can also facilitate knowledge sharing and collective action on shared sustainability challenges.

Monitoring and evaluating the effectiveness of ESG initiatives, learning from successes and failures, and adapting strategies and practices accordingly drives continuous improvement and innovation (Solomon et al., 2024). By following this strategic framework, financial professionals can navigate the complex landscape of ESG integration, capitalize on the opportunities presented by sustainability and position their organizations for long-term success and resilience in a rapidly evolving business environment.

2.1.2 Concept of Sustainability in Business Management

Adopting tactics and procedures that boosts a company's profitability while simultaneously and favorably impacting society and the environment is what we mean when we talk about sustainability in business management. This all-encompassing method guarantees that companies act responsibly, ethically, and advantageously for all parties involved, encompassing workers, consumers, neighborhoods, and the environment. Over the last few decades, there has been a sea change in how businesses think about sustainability, with an emphasis on long-term viability and resilience replacing a concentration on short-term advantages.

The concept of the "triple bottom line" – People, Planet, and Profit – forms the basis of sustainability in company management. The framework's proponents argue that businesses should prioritize social responsibility and environmental protection alongside profit maximization. Businesses may help build a better, more fair future by including these three characteristics into their value creation processes. Sustainable environmental practices aim to minimize human interference with the natural world (Nwokike, 2021: p.40). Reduced carbon footprints, less waste, more water conservation, and increased use of renewable energy sources are all part of this. To reduce their impact on the environment and make better use of their resources, Akpan et al., 2020 opine that more and more businesses are embracing sustainable supply chain strategies and green technology. For a business to be socially sustainable, they reiterated that it must prioritize the happiness of its workers, consumers, and neighbors. Human rights, community involvement, diversity and inclusion, and fair work standards are all part of it, Companies nowadays are starting to understand the value of

fostering inclusive and supportive workplaces, investing in the health and happiness of their employees, and giving back to the communities in which they operate.

A company's capacity to be run in an ethical and transparent manner is a key component of its governance sustainability. Compliance with rules and regulations, competent leadership, and effective risk management are all part of this. In order to keep a company's reputation intact and earn the confidence of its stakeholders, good governance processes are crucial. . Incorporating ESG (environmental, social, and governance concepts into company plans is now essential for success in the long run. More and more, stakeholders like investors, customers, and government agencies are pressuring businesses to show they care about sustainability. Therefore, companies that put their brand image, are gaining a competitive edge. Ultimately, the goal of sustainable business management is to provide long-term value for the organization and for the society at large. Businesses may secure their own long-term prosperity and resilience which is also making a positive impact on the planet in the adoption of the sustainability practices.

2.1.3 Understanding ESG Factors

In today's business landscape, environmental, social, and governance (ESG) factors play a pivotal role in shaping corporate behaviour, stakeholder perceptions and long-term sustainability (Adenekan et al., 2024). Environmental factors encompass a wide range of issues related to the natural world and its resources. Addressing these factors is essential for mitigating climate change, preserving biodiversity, and ensuring the sustainable use of natural resources. Climate change poses one of the most significant challenges facing businesses and society today. Rising global temperatures, melting ice caps, and extreme weather events are causing widespread environmental, social, and economic impacts (Osimobi et al., 2023). Businesses are increasingly under pressure to reduce their carbon footprint, transition to renewable energy sources, and adopt sustainable practices to mitigate climate risks and contribute to global efforts to limit global warming. With growing populations, and increasing consumption levels, resource efficiency has become a critical consideration for businesses seeking to minimize their environmental footprint and optimize resource use (Onwuka et al., 2023). Efficient use of resources, such as water, energy, and raw

materials, not only reduces costs but also conserves natural resources, reduces pollution, and enhances competitiveness in the market.

Pollution and waste management are pressing environmental issues that require urgent attention from businesses and policymakers alike (Onwuka & Adu, 2024). Industrial activities, transportation, and urbanization contribute to air, water, and soil pollution, posing risks to human health and ecosystems. Effective waste management practices, including recycling and waste reduction, are essential for minimizing environmental pollution and promoting a circular economy where resources are used more sustainably.

Social factors encompass a broad spectrum of issues related to human well-being, equality and social justice (Onwuka & Adu, 2024). Addressing these factors is crucial for promoting inclusive and equitable societies and fostering positive relationships with employees, customers, communities, and other stakeholders. Labor practices encompass a range of issues related to employee rights, working conditions, and labour standards. Fair wages, safe working conditions, job security, and opportunities for skill development and career advancement are essential elements of responsible labour and loyalty but also mitigate labour-related risks and build a positive corporate reputation (Onwuka & Adu, 2024).

Respect for human rights is fundamental to ethical business conduct and sustainable development. Businesses have a responsibility to uphold human rights principles and ensure that their operations do not infringe upon the rights of individuals or communities. This includes addressing issues such as child labour, forced labour, discrimination, and access to basic human rights, such as clean water, education, and healthcare, throughout their value chains. Diversity and inclusion are increasingly recognized as critical drivers of innovation, creativity, and organizational performance (Onwuka & Adu, 2024). Embracing diversity in terms of race, ethnicity, gender, age, sexual orientation, and disability fosters a culture of belonging and respect, encourages different perspectives and ideas, and strengthens employee engagement and productivity. Businesses that prioritize diversity and inclusion not only benefit from a more diverse talent pool but also gain a competitive edge in attracting and retaining talent and serving diverse customer bases (Daramola et al., 2024).

Governance factors encompass the structures, and practices that govern how organizations are managed, directed, and controlled. Effective corporate governance is essential for ensuring accountability, transparency, and ethical behaviour, thereby safeguarding the interests of stakeholders and promoting long-term value creation. Board diversity refers to the representative of individuals from diverse backgrounds, experiences, and perspectives on corporate boards (Daramola et al., 2024).

Diverse boards are better equipped to understand and address the needs and concerns of diverse stakeholders, make more informed decisions, and promote innovation and long-term value creation. Board structure, including the separation of the roles of CEO and board chair, the composition of board committees, and the independence of board members, also plays a crucial role in ensuring effective governance and oversight. Executive organization practices influence corporate behaviour and performance, shaping incentives for executives, and driving organizational priorities (Daramola et al., 2024). Fair and transparent executive compensation policies that align executive pay with long-term performance, shareholder interests, and ESG goals can help mitigate excessive risk taking, promote sustainable growth, and enhance stakeholder trusts. Conversely, excessive or disproportionate executive compensation can undermine employee morale, shareholder confidence, and corporate reputation. Transparency and accountability are fundamental principles of good governance that promote trust, integrity, and responsible decision-making (Daramola et al., 2024). Transparent reporting practices including timely and accurate disclosure of financial information, enable stakeholders to assess an organization's performance, risks, and impact on society and the environment. Accountability mechanisms, such as independent audits, oversight by boards of directors, and engagement with stakeholders, ensure that organizations are held accountable for their actions and fulfil their obligations to society (Oduro et al., 2024). In summary, understanding ESG factors is essential for businesses seeking to navigate the complexities of the modern business environment, manage risks, and seize opportunities for long-term value creation and sustainability (Oduro et al, 2024). By addressing environmental, social, and governance issues comprehensively, businesses can enhance their resilience, reputation, and relevance in an increasingly interconnected and interdependent world.

2.1.4 Benefits of ESG Integration

ESG integration offers a multitude of benefits to businesses, ranging from financial performance to stakeholder engagement. This section explores the various advantages that

organizations can gain by incorporating ESG considerations into their strategies and operations (Uzougbo et al., 2024). Numerous studies have shown a positive correlation between strong ESG performance and financial performance.

Companies that prioritize ESG tend to outperform their peers financially, delivering higher returns on investment, lower cost of capital, and increased shareholder value over the long term. By addressing environmental, social, and governance risks proactively, businesses can enhance corporate reputation and brand value by demonstrating business continuity and resilience. ESG integration enhances risk management practices by identifying and mitigating risks early, thereby safeguarding business continuity and resilience. ESG integration can improve access to capital by attracting a broader range of investors, including those who prioritize sustainable and responsible investments (Ikegwu, 2022). Companies with strong ESG performance are more likely to attract investment from sustainable investment funds, impact investors, and socially responsible investors, who seek to align their investment portfolios with ESG principles and achieve positive social and environmental outcomes alongside financial returns (Ibe et al., 2018). Companies with strong ESG performance may benefit from lower borrowing costs and improved credit ratings, as lenders and investors perceive them as lower-risk investments. By demonstrating robust ESG practices and transparency in reporting, businesses can access capital at more favourable terms, reducing financing costs and enhancing financial flexibility (Osugwu et al., 2023). ESG integration facilitates meaningful engagement with stakeholders, including investors, consumers, employees, suppliers, communities, and regulators. By actively listening to stakeholders' concerns, incorporating their feedback into decision-making processes, and addressing their needs and expectations, businesses can build trust, foster collaboration, and create shared value for all stakeholders (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). Engaged and motivated employees are essential for driving innovation, productivity, and business success. By prioritizing employee well-being, diversity inclusion, and professional development, businesses can attract, retain, and empower talent, leading to higher levels of employee satisfaction, loyalty, and performance.

2.1.5 Strategic Framework for ESG Integration

Implementing ESG integration requires a structured approach that aligns with the organization's strategic objectives and fosters continuous improvement (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). This section presents a comprehensive strategic framework for ESG integration, consisting of five key components: Assessing Materiality, integration into Business Strategy, Measurement and Reporting, Engagement and Collaboration, and Continuous Improvement.

The first step in ESG integration is to identify the key environmental, social, and governance issues that are most relevant to the organization's business model, industry, and stakeholders (Adabayo et al., 2021). This involves conducting a thorough materiality assessment, which may include stakeholders' engagement, risk assessments, industry benchmarking, and analysis of regulatory requirements and emerging trends. Once the key ESG issues have been identified, they need to be prioritized based on their materiality and significance to the organization's operations, reputation, and long-term sustainability (Oyinkansola, 2024). Materiality assessments help businesses focus their efforts and resources on addressing the most critical ESG risks and opportunities, ensuring that ESG integration efforts are targeted and effective.

ESG goals and initiatives should be closely aligned with the organization's overall business objectives, mission, and values. This ensures that ESG integration is integrated into the core of the business strategy and drives meaningful impact across all areas of the organization. By aligning ESG goals with business objectives, companies can create synergies, maximize value creation, and foster a culture of sustainability throughout the organization (Adelakun, 2024). ESG

considerations should be embedded into decision-making processes at all levels of the organization, from strategic planning to day-to-day operations. This involves integrating ESG criteria into investment decisions, product development, supply chain management, employee engagement, and risk management practices. By incorporating ESG considerations into decision-making processes, businesses can make more informed and sustainable choices that benefit both the organization and its stakeholders (Adelakun, 2023).

To track progress towards ESG goals and objectives, organizations need to establish key performance indicators (KPIs) and metrics for measuring ESG performance. These KPIs should be aligned with the organization's material ESG issues and strategic priorities and should be measurable, relevant and actionable. Common ESG KPIs may include carbon emissions, energy consumption, diversity and inclusion metrics, employee turnover rates, community engagement activities, and ethical sourcing practices (Adeusi et al., 2024). Transparent reporting is essential for building trust and credibility with stakeholders and demonstrating accountability and progress towards ESG goals. Organizations should develop clear and consistent reporting frameworks and processes for disclosing ESG performance data to investors, customers, employees, regulators, and other stakeholders (Jejenwa et al., 2024).

This may include annual sustainability reports, integrated financial reports, ESG ratings and rankings, and stakeholder's engagement forums. By providing transparent and comprehensive ESG reporting, organizations can enhance transparency, accountability, and stakeholder trust. Effective stakeholder engagement is essential for understanding stakeholder expectations, building relationships, and addressing concerns related to ESG issues (Jejenwa et al., 2024). Organizations should engage with a wide range of stakeholders, including investors, customers, employees, suppliers, communities, NGOs, and regulators, through various channels, such as surveys, focus groups, town hall meetings, and online forums. By fostering open and transparent dialogue with stakeholders, organizations can gain valuable insights, build trust, and co-create solutions to complex ESG challenges (Jejenwa et al., 2024). Collaboration with industry peers, partners, and other stakeholders can accelerate progress towards common ESG goals and drive collective action on shared sustainability challenges. Organizations should seek opportunities to collaborate with industry associations, multi-stakeholder initiatives, research institutions, and government agencies to share best practices, leverage resources, and scale impact (Jejenwa et al., 2024). By working together, organizations can amplify their efforts, drive innovation, and create positive change at scale.

Continuous monitoring and evaluation are essential for assessing the effectiveness of ESG initiatives, identifying areas for improvement, and tracking progress towards ESG goals. Organizations should establish robust monitoring and evaluation mechanisms, including regular performance reviews, audits, and impact assessments, to measure the outcomes and impacts of ESG initiatives. By monitoring key performance indicators and tracking progress over time, the organization can identify trends, address gaps, and make data-driven decisions to optimize ESG performance (Joel & Oguanobi, 2024). ESG integration is an ongoing process that requires iterative adaptation and continuous improvement based on feedback and results. Organizations should be regularly review and update their ESG strategy, goals, goals, and action plans in response to changing internal and external factors, emerging risks and opportunities, and stakeholder feedback. By remaining agile and responsive to changing circumstances, organizations can stay ahead of the curve, drive innovation, and maintain a competitive edge in rapidly evolving business environment (Joel & Oguanobi, 2024).

2.1.6 The Nigerian National Petroleum Corporation (NNPC)

The Nigerian National Petroleum Corporation (NNPC) is the state oil corporation which was established on April 1, 1977 vide NNPC Act No 33 of 1977. In addition to its exploration activities,

the Corporation was given powers and operational interests in refining, petrochemicals and products transportation as well as marketing (NNPC Annual Report, 2023). The NNPC Act of 1977 which establishes the corporation permitted, subject to delegation from the Minister and or, the President, the absence of licences and permits with respect to refining, storage, marketing and distribution. It is also to actively be involved with the licensing of marketers for the purpose of importation of petroleum products in Nigeria and to protect the petroleum operating environment. The NNPC Act provides for governance regime in the Nigerian oil and gas industry. It creates the NNPC as a body corporate.

There is also a Board of Directors responsible for the conduct of the Department of Petroleum Resources (DPR). The Board of Directors consists of the Chairman, the Permanent Secretary, Federal Ministry of Finance and Economic Development, the Managing Director of the Corporation (now styled General Managing Director) and three persons to be appointed by the President, being persons who by reason of their ability, experience or specialized knowledge of the oil industry or of business or professional attainments are capable of making useful contributions to the work of the Corporation. Section 1(3) of the NNPC Act further provides that the Chairman shall be a Minister in the Government of the Federation to be known and styled as the Minister of Petroleum Resources (NNPC Annual Reports, 2024).

As a vertically integrated national oil company, the NNPC Act fuses in the NNPC with both commercial, regulatory and governance functions. The NNPC is also empowered, and in fact it has a general duty to engage in activities that would enhance the petroleum industry in the overall interest of Nigerians. Thus, the NNPC may make policy formulations in the Nigerian oil and gas industry at the same time it carries out commercial and regulatory activities in the

industry. Policy implementations and the regulation of activities of operators in the oil and gas industry are key statutory functions of the NNPC.

The NNPC's regulatory functions are to be performed by the Petroleum Inspectorate department. The Petroleum Inspectorate department is established by section 10(1) of the NNPC Act. The Petroleum Inspectorate department is an integral part of the NNPC, and it is headed by a chief executive who is appointed by the Minister of Petroleum Resources with the approval of the President. The Petroleum Inspectorate has now been redesigned as the Department of Petroleum Resources (DPR) without an amendment to the NNPC Act.

NNPC is the Nigerian National Oil Company and DPR is the main regulator, for now. The DPR could not optimally perform its regulatory functions due to several factors. The only way to reposition the NNPC is to have an independent regulatory body to cater for the upstream, midstream and downstream sectors of the petroleum industry. The authors found that past reforms had tinkered on the need to have separate regulatory agencies for the industry but due to lack of political will to implement these various reforms, together with the inability of the nation's National Assembly to pass the PIGB Bill into law, coupled with the withholding of assent by the President to certain sections of the bill, the result has meant that the Nigerian nation shall continue to have for a long time, stalemate in the regulatory architecture governing the petroleum industry.

2.1.7 Challenges and Barriers to ESG Integration

Despite the numerous benefits of ESG integration, businesses may encounter several challenges and barriers when implementing ESG initiatives. Overcoming these challenges requires commitment, collaboration, and strategic planning (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). One of the primary challenges facing businesses is the lack of standardization and disclosure in ESG reporting. There is a proliferation of ESG frameworks, standards, and reporting guidelines,

leading to confusion and inconsistency in ESG disclosures. To address this challenge, businesses need to adopt globally-recognized ESG reporting standards, such as those developed by the Global Reporting Initiative (GRI), the Sustainability Accounting Standards Board (SASB), or the Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), and ensure transparent and consistent reporting practices. Short-termism in financial markets poses a significant barrier to ESG integration, as investors often prioritize short-term financial returns over long-term sustainability considerations (Adanma, & Ogunbiyi, 2024).

To overcome this challenge, businesses need to educate investors about the value of ESG integration and the importance of considering environmental, social, and governance factors in investment decision-making. Additionally, regulatory reforms, incentive structures, and industry initiatives can help incentivize long-term thinking and promote responsible investment practices (Abati et al., 2024). Another challenge facing businesses is the availability and quality of ESG data. Many companies struggle to collect, analyse, and report relevant ESG metrics due to data gaps, inconsistencies, and limitations in data collection methods. To address this challenge, businesses need to invest in robust data management systems, engage with stakeholders to gather relevant data, and collaborate with industry peers and partners to develop standardized ESG metrics and benchmarks (Adebajo et al., 2024). Resistance to change within organizations can hinder firm performance, businesses need to foster a culture of sustainability, empower employees to drive ESG initiatives, provide training and support, and communicate the benefits of ESG integration effectively (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). Leadership commitment, employee engagement, and stakeholder buy-in are essential for overcoming resistance to change and driving meaningful ESG transformation within organizations.

In conclusion, while ESG integration offers numerous benefits to businesses, including financial performance, risk management, reputation enhancement, access to capital, and stakeholder engagement, it also presents several challenges and barriers that require careful consideration, and strategic planning (Adanma, & Ogunbiyi, 2024). By addressing these challenges proactively and adopting a holistic approach to ESG integration, businesses can unlock value, drive innovation, and create a positive social and environmental impact for the benefit of all stakeholders.

2.2 Theoretical Review

A theoretical review is a collection of relevant theories upon which the study is based. It is the fundamental hypothesis that gives credence to the entire study. This study is anchored on the following theories: the stakeholders' theory, the triple-bottom-line theory, and the sustainable development theory. We shall discuss these theories separately, identifying their relevance and contributions to this present study.

The Stakeholders Theory:

Stakeholders are groups and individuals who have an interest in the activities and outcomes of an organization and on whom the organization relies to achieve its own objectives. They include customers, suppliers, employees, community, and the government. Stakeholder theory, which is associated with Freeman (1986), is a mixed amalgamation of narratives covering strategic management, business, ethics, marketing, human resource management, finance, and corporate governance (Freeman, 1984; Freeman & McVea, 2001; Freeman & Reed, 1983). Different

concepts of stakeholder theory and definitions have given rise to different narratives as a distinctive definitions and approaches are made to serve distinctive purposes ((S. Miles, 2017). The theory also rests on a strong ethics foundation to the extent that all stakeholders must be treated fairly and be given their due in the organization.

Stakeholder theory is a framework that recognizes that an organization not only has responsibilities to stakeholders but also to various parties who are affected to have an interest to the company's activities and decisions. This includes employees, consumers, local communities, government, and the environment. Environment, social, and governance (ESG) in its definition represents environmental protection, social responsibility, and corporate governance in the investment process, which is the basis of socially responsible investment and the core of sustainability.

Stakeholder theory helps in the understanding of interests and concerns of various stakeholders. Companies can manage the risks associated with long-term sustainability applying the tenets of the stakeholder theory. These risks may be representational risks, legal risks, or operational risks. Responding to stakeholder needs can drive innovation and create a competitive advantage for organizations, for example, consumer demand for environmentally-friendly ESG practices and concepts.

Tripple-bottom-line Theory:

John Elkington strove to measure sustainability during the mid-1990s by encompassing a new framework to measure performance in corporate America. This accounting framework called the triple-bottom-line (TBL) theory, went beyond the traditional measures of profits, return on investment, and shareholder value to include environmental and social dimensions.

By focusing on comprehensive investment results, that is, with respect to performance along the interrelated dimensions of profits, people and the planet – triple-bottom-line reporting can be an important tool to support sustainability goals. Interest in triple-bottom-line accounting has been growing across for-profit, non-profit and government sectors. Many businesses and nonprofit organizations have adopted the TBL sustainability framework to evaluate their performance, and a similar approach has gained currency with government at the federal, state and local levels.

The TBL captures the essence of sustainability by measuring the impact of an organization's activities on the world including both its profitability and shareholder values and its social, human and environmental capital. The triple-bottom-line (TBL) theory enunciated by Elkington has changed the way businesses, nonprofits and governments measure sustainability and the performance of projects or policies. Beyond the foundation of measuring sustainability on three fronts – people, planet and profits.

State, regional and local governments are increasingly adopting the TBL and analogous sustainability assessment frameworks as decision-making tools. Maryland, Minesota, Vermont, Utah, the San Francisco Bay Area and Northeast Ohio in the United States have conducted analysis using the TBL or a similar sustainability framework. Policy-makers use these sustainability assessment frameworks to decide which actions they should or should not take to make society more sustainable. Policy-makers want to know the cause-and-effect relationship between actions – projects or policies – and whether the results move society toward or away from sustainability. The State of Maryland, for example, uses a blended GPI-RBL framework to compare initiatives – for example, investing in clean energy – against consumption and alternative fuel usage.

There are challenges to putting the TBL into practice. These challenges include measuring each of the three categories, finding applicable data and calculating a project or policy's contribution to sustainability. These challenges aside, the TBL framework allows

organizations to evaluate the ramifications of their decisions from a truly long-run perspective.

Sustainability Development Theory:

Sustainability and sustainable development have become important concepts and goals across science and society. Sustainability, connected to desirable long-term conditions, is an inherently applied pursuit in geography and other fields. An integrative statement of essential concepts upon which sustainability studies and applications are being built has been lacking, however. According to Du Plessis (2002), sustainability in its broadest view can be defined as a state that allows continued existence of human life. To achieve this state, the following are required on an intra and extra-generational basis: equity, meeting social needs in an acceptable manner, balance between these needs and the earth's carrying capacity, and prosperity.

Sustainable development (SD) on the other hand, emerges as a continuous dynamic process of ensuring human life sustenance (meeting the requirements to achieve a state of sustainability). This was what prompted the UN World Conference on Environment and Development (WCED) in 1992 and UN Conference on Sustainable Development in South Africa, popularly referred to as the Brundtland Report which defined sustainable development as development that meets the needs of the present without jeopardizing meeting the needs of the future generations yet unborn. Du Plessis (ibid) further emphasized that sustainable development (SD) should not be seen as human development that can be sustained but rather as the development that is needed to ensure sustainability. This line of thought presents a departure from the conceptualization of sustainability and sustainable development (SD) as synonymous and thus interchangeable, as postulated by (Murray & Cotgrave, 2007; Hume et al., 2011 and Holland, 2017), to being two different concepts. As such, sustainability emerges to be the goal and sustainable development (SD) the means of achieving that goal.

Given the conceptual difference between sustainability and sustainable development (SD), various sustainability interpretations, the consequent SD discourses and associated implications, there is need for specificity in sustainability research. For clarity of the intended/desired sustainability state and means thereof, SD in a given context, there is need for specificity on adopted sustainability interpretation(s); and consequent SD discourse(s) including reasons thereof. Additionally, this will curb technological misapplication and/or inadvertent simplification which have been identified as some of the outcomes of multiplicity of interpretations. Additionally, this review recommends continued debate around the subject.

2.2.1 Theoretical Framework

This study's theoretical framework is built and anchored on the foundation of the Stakeholders' Theory. It builds on the recognition of the role of stakeholders in the development of the corporation. Unlike other theories, stakeholder theory is interested in what happens not only in the principal-agent relationship, but also outside it, which includes other stakeholders such as personnel, customers, banks, suppliers, the state, local authorities, trade unions and others. Thus, new participants appear in corporate governance, whose place and importance have not been previously taken into considerations.

Having more participants means increasing and complicating the problems that corporate governance has to solve. Problems arise with the management of conflicts between stakeholders, which are much more and multi-layered than the principal-agent or principal-principal dichotomy

(Nedelchev, 2017). The identification of stakeholders of stakeholder and their interests, the development of strategies to attract or neutralize them in the implementation of reforms and large-scale restructuring of corporation that affect many stakeholders are becoming extremely important.

Despite, and probably due to, its dynamic development, stakeholder theory focuses on three topics, protecting one's right to exist, research of the practice of corporate governance in relation to the stakeholders and development of policy recommendations and how to deal with them. Outside these topics remains the problem of theoretical foundations of this theory, the disclosure of which would facilitate the process of strengthening its identity and would dynamize its future development. This study deals with solving this problem.

2.3 Empirical Literature

Omowonuola et al. (2024) conducted their study on "Transforming Models with ESG Integration: A Strategic Framework for Financial Professionals", using 32 manufacturing firms in Lagos State, Nigeria. The paper presents a strategic framework for financial professionals aiming to integrate environmental, social, and governance (ESG) factors into business models effectively. As global awareness of sustainability issues grows, businesses face increasing pressure to adopt practices that align with ESG principles. The framework outlined in this study offered a structured approach to navigate this complex landscape, leveraging ESG integration to drive financial performance. The research design adopted was the descriptive research design and primary data of structured questionnaire was utilized in the collection of research data. The hypotheses for the study were tested utilizing the independent t-test statistic. The study concluded that through a systematic assessment of material ESG issues, alignment with business strategy, robust measurement, and reporting mechanisms, proactive engagement, and a commitment to continuous improvement, financial professionals can position their organizations for long-term success in a rapidly, evolving market environment.

Tao Fua and Jiangjun Li (2025) conducted a study on an empirical analysis of the impact of ESG on financial performance: the moderating role of digital transformation in 51 selected manufacturing firms in China. They used a A-share listed companies in China from 2015 to 2021 as samples to test this mechanism. Regression analysis showed that ESG positively and significantly affects corporate financial performance and digital transformation drives this promoting effects. Specifically, the heterogeneity test results show that the enhancement effect of ESG on financial performance is significant for non-state-owned companies but significant for state-owned companies, the same is true for companies located in the eastern region compared with those in the midwestern region. Finally, the enhancement effect of ESG on the financial performance or polluting firms is stronger than that on non-polluting firms.

Wheelan et al. (2022) conducted their study entitled: Uncovering the Relationship by Aggregating Evidence from 1,000 Plus Studies published between 2015-2020. Meta studies examining the relationship between ESG and financial performance have a decades-long history. The study adopted a meta-analysis study with a qualitative approach and 2-investor meta-analysis studies (covering 107 unique studies) published since 2015. The former found consistent positive connections between ESG and corporate financial performance, the latter

found that ESG investing returns were generally indistinguishable from conventional investing returns.

Xinya Shao (2022) conducted his study entitled: *Empirical Research of ESG Performance and Firm Performance in Chinese Real Estate Companies*. The research analyzes the existing ESG research and puts forward the research hypotheses. In addition, the ROE as well as Debt-to-asset ratio were adopted as the explanatory variables and ESG as the explanatory variables. This study used regression analysis to evaluate the annual reports of listed companies in China's A-share real estate industry from 2018 to 2020 to empirically analyze the relationship between ESG performance and ROE and debt-to-asset ratio. The results of the study indicate that there is a significant positive relationship between ESG performance and ROE and debt-to-asset ratio. Based on the research results, and taking into account the current situation of enterprises in the real estate industry, this paper suggests that companies should strengthen the ESG information disclosures requirements for enterprises in the real estate industry, formulate corresponding ESG policies and continuously deepen the application of enterprise ESG management.

Shaikh (2021) conducted his study titled: *Environmental, Social, and Governance (ESG) Practice and Firm Performance (An International Perspective)* using 510 selected manufacturing firms from 17 countries across the globe. The study attempts to bring quantitative evidence of a firm's sustainability reporting in terms of non-financial voluntary disclosures. The disclosures are made available through the annual report and Corporate Social Responsibility (CSR) and Global Reporting Initiatives (GRI) report. The study's research problem is to examine the effects of non-market transactional sustainability strategy on firm performance. The study presents an analysis of nearly 510 firms ESG scores across 17 countries from 2010-2018. The descriptive and inductive statistical analysis shows that ESG compliance is more pronounced in European companies. Simultaneously, Asian firms are more disciplined concerning the energy sector, and the Asia-Pacific counterpart is more inclined toward technology firms. The study shows that GRI and non-GRI companies differ significantly in their accounting performance (ROA and ROF) and market variations (Tobins-Q). The environmental dimension appears intimidating across accounting and market-based firm performance, while the social dimension contributes adversely, and governance positively affects operational efficiency. Joseph et al. (2022) conducted their study on sustainability theory: synopsis, concepts, interpretations and discourses. The study was aimed at providing a comprehensive foundation for future sustainability studies in relation to context, interpretations and discourses in sustainability theory. The findings revealed that sustainability is the desired state of continued human life sustenance with SD being the means of achieving the said state. Additionally, two sustainability interpretation viewpoints were identified: extent of capital forms sustainability – radical, social democratic, liberal and neoliberal, and man-earth dominance – ecocentrism and anthropocentrism. Lastly, the consequent SD disclosures identified were limits – premised on planetary carrying capacity; change – based on need for change to counter critical natural resources depletion, and integration – premised on joint environmental and socio-economic consciousness. The above highlights the need for specificity on sustainability interpretation and SD disclosures adopted in research for; enhanced clarity; and, curbing technological misapplication and/or simplification. Additionally, the study recommends continued debate around the subject for continuous improvement of the knowledge advanced herein.

Marlina Kurniawan (2021) conducted a study on the influence of environmental, social, and governance (ESG) performance on company performance among Malaysian public companies. The study analyzes the effect of ESG performance on company performance in Malaysia public companies. The data sourced the Reifinitiv Eikon in the 2021 period. The estimation of the data regression model was determined in this study using Ordinary Least Square (OLS). The results of this study indicate that the higher the ESG score in a company, the company's performance will increase. Thus, ESG is considered to contribute to improving company performance. The analysis

results can be used by management to make investment decisions on ESG whether it is worth the results, and for investors to be a consideration in determining their investment decisions.

Oyegunle-Osimaje (2025) conducted her study on environmental, social, and governance (ESG) score and corporate financial performance: evidence from the Nigerian Market. The study investigated the impact of ESG score on the corporate financial performance of non-financial firms (NFFs) listed in the Nigerian Stock Exchange group. In this study, disclosure of ESG is considered and quantified using sequential counting (ESG Score) and financial performance is measured by Return on Assets (ROA), Return on Equity (ROE) and Book Value to Equity (BTE) which is a combination of accounting and market-based variables. The study recommends NFFs to establish mechanisms for continuous monitoring and evaluation of the impact of ESG practices on various financial indicators. This involves regularly assessing the outcomes of ESG initiatives and making adjustments to ensure they are not more diversion of companies' resources.

Zhan (2024) conducted his study on ESG and Corporate Performance: A Review using 31 manufacturing firms in China. He opine that ESG is becoming increasingly important topic in corporate finance literature. The paper provides implications for investors, ESG can build up reputation, transmit positive signals, and investors react positively to socially responsible firms, increasing corporate performance. On the other hand, according to the agency theory, more ESG investments may reflect managerial opportunism, which negatively affects corporate innovation. This paper aimed to provide a synthetic and evaluation monograph of literature that examines the relationship between ESG and corporate performance.

Kupcu (2017) conducted her study on the art of the ESG conversation: Workshop Agenda carried out among 42 textile firms in Malaysia. The study adopted the use of interviews and semi-structured questionnaire in the collection of data for the study. The research design for the study was based on descriptive survey research. Simple random sampling technique was adopted in determining the sample size for the study. Chi-square statistic was employed in the analysis of data. The study concluded that ESG has become the subject matter of 21st century corporate finance and its adoption in strategic management inevitable.

2.4 Gaps in Literature

The researcher reviewed a plethora of current literature in the subject area of study. The researcher was not privileged to identify any previous works that carried out an in-depth study on sustainability strategies in contemporary business management-integrating environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning, adopting a case study from Nigerian National Petroleum Company (NNPC) Headquarters, Abuja, FCT., as was done in this present study. Hence, this study filled this important gap in literature. Again, the researcher was not privileged to identify any previous works conducted in the study area – the Nigerian National Petroleum Company (NNPC) Headquarters Abuja FCT., however scanty it may be, in this area of study. Hence, this was the first study carried out on this subject matter and in this study area. It is unarguably, therefore, that this present study filled this all-important gap.

3. Methodology

3.1 Research Design

Survey-based research design was used for the study, with a focus on NNPC Limited as the primary case study. This design allows for the collection of quantitative and qualitative data from a significant number of participants, to address the slated research objectives and hypotheses testing.

3.2 Target Population

The study utilized a single-case study approach, targeting NNPC Limited as a representative organization within the Nigerian oil and gas sector. According to Premium Times (25th May, 2022) paper, NNPC has 6,621 staff strength both at its headquarters and across all its subsidiaries, divisions and offices nationwide. of which 1,200 are employed at the NNPC Headquarters, Abuja FCT.

3.3 Sample Size and Sampling Technique

The study used simple random sampling technique to select participant among the identified staffs of NNPC Headquarters, Abuja FCT. A total of 1,200 employees of NNPC Headquarters, Abuja FCT was considered out of which 10% of the total population (i.e. 120 employees) were selected for the study.

3.4

3.5 Data Collection Technique

A structured questionnaire was administered to employees at NNPC Headquarters, Abuja FCT and other relevant stakeholders. The survey sought to collect data on: sustainability strategies in contemporary business management (integrating environmental, social, and governance – ESG Principles in Corporate Planning – a study of NNPC Headquarter, Abuja, FCT. Primary data was collected from structured questionnaire and interview technique. One hundred and twenty (120) questionnaires were distributed out of which one hundred (100) were properly filled-out and returned for the purpose of data analysis which represents 83.3% return rate.

Secondary data was equally utilized in the collation of materials for building up the literature for this study. Such secondary data utilized were from relevant Strategic management textbooks, journals and articles, unpublished thesis, dissertation and undergraduate projects, industry reports and periodicals, etc.

3.6 Analysis Technique

Frequency distribution tables were used in the presentation of the data while Mean ($\bar{X}$) and Standard Deviation (SD) were utilized in the analysis of data. Cronbach Alpha coefficient of 0.70 was adopted to test the reliability of the instrument used. The independent t-test statistics was employed to test the hypotheses for the study while the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Version 26 was utilized in further analysis of the study data.

4.0 Data Analysis, Results and Discussions

4.1 Demographics of the Respondent Table 1: Tabulation of Department

Department	Freq.	Percent
Electricals	10	10
Finance	5	5
Human Resources Department	10	10
IT	10	10
Internal Audit	20	20
Operations	5	5
Piping	10	10
Public Affairs	10	10
Risk Management	15	15
Software Engineering	5	5
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 1 reveals a diverse range of departments within the organization, with Internal Audit and Risk Management being the most prominent, accounting for over 50% of the workforce. Human Resources (10%) and IT (10%) also represent significant departments, while several others, including Operations, Software Engineering, and Finance departments have smaller but essential roles.

Table 2: Job Role

Job Role	Freq.	Percent
Consultant	15	15
Management consultant	10	10
Manager	15	15
Staff	40	40
Supervisor	20	20
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 2 displays the roles respondents assumed at the job. The table presents a mix of job roles, with "Staff" being the most common, constituting about 57.5% of the employees. Supervisors (30.77%) and Managers (7.69%) also form a substantial portion of the workforce,

indicating a hierarchical structure. Consultant roles, while fewer in number, likely play specialized roles within the organization.

Table 3: Years of Experience in Current Role

Years of Experience in Current Role	Freq.	Percent
1-3 years	40	40
4-6 years	30	30
7-10 years	20	20
Less than 1 year	10	10
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 3 shows the years of experience of NNPC Headquarters Abuja employees. A significant portion of the employees (47.5%) have been in their current roles for 1-3 years, suggesting a relatively young and dynamic workforce. About 30 employees accounting for 12.5% of the total respondents have 4-6 years of working experience Those with 7-10 years of experience form another significant group (32.5%), indicating a balance between newer and more experienced staff.

Table 4: Level of Education

Level of Education	Freq.	Percent
Bachelor's Degree	50	50
Master's Degree	30	30
Secondary School	15	15
PhD	5	5
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 4 shows that more than half of the respondents, 50.0%, hold Bachelor's degree as their highest qualification. A slightly lower portion of the respondents, 30.0%, attained Master's

level degree. However, the remaining two respondents constitute of 5 with doctorate degree while the other has 15 secondary school certificated.

Table 5: Are there impacts of sustainability strategies on contemporary business management?

Are there impacts of sustainability strategies on contemporary business management?	Freq.	Percent
No	30	30.00
Yes	70	70.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 5 reveals that 30% of the respondents disagreed that sustainability strategies have any impact on contemporary business management. The remaining 70% were in agreement that sustainability strategies impact positively in many ways on contemporary business management.

4.2 Data Analysis

4.2.1 Impact of Environmental, Social, and Governance (ESG) Principles on Corporate Planning

Table 6: Impact of Environmental, Social, and Governance (ESG) principles on corporate planning

What are the impacts of environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning?	Freq	Percent
Frequently	50	50.00
Never	10	10.00
Occasionally	25	25.00
Rarely	15	15.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

According to Table 6, (75) respondents agreed that there are significant and positive impact of environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning with (75.0%) while only 25 respondents (25.0%) disagreed.

Table 7: Importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability

How important is environmental, social, and governance (ESG) principles to organizational sustainability and profitability?	Freq.	Percent
Agreed	40	40.00
Strongly Agreed	30	30.00
Undecided	15	10.00
Disagreed	10	15.00
Strongly Disagreed	5	5.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 7 shows that 70 respondents representing (70.0%) agreed that environmental, social, and governance principles impacts significantly on organizational sustainability and profitability while only 30 respondents representing (30.0%) disagreed.

Table 8: Impact of the role of NNPC Headquarters Abuja in the application of ESG principles on corporate planning

What is the impact of the role of NNPC of headquarters in the application of ESG principles on corporate planning?	Freq.	Percent
High impact	40	40.00
Low impact	20	20.00
Moderate impact	15	15.00
Very high impact	20	20.00
Very low impact	5	5.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 8 presents the impact of the role of NNPC headquarters Abuja FCT in the application of ESG principles on corporate planning. Sixty (60) respondents agreed that the role of NNPC impacts positively on corporate planning while forty (40) respondents disagreed.

Table 9: Challenges and implications for NNPC in its application of ESG principles in corporate planning?

Are there challenges and implications for NNPC in its application of ESG	Freq.	Percent

principles in corporate planning?		
Agreed	45	45.00
Strongly Agreed	25	25.00
Undecided	15	15.00
Disagreed	10	10.00
Strongly Disagreed	5	5.00
Total	100	100.00

Source: Fieldwork, 2025

Table 9 shows that 70 respondents representing (70.0%) agreed that there are challenges and implications for NNPC in its application of ESG principles while only 30 respondents representing (25.0%) disagreed and 5 respondents representing (5.0%) were undecided.

4.3 Hypothesis Testing

The following null hypotheses will be tested at 0.05 level of significance.

Table 4.2 t-tests of Hypotheses on Ho1, Ho2, Ho3, Ho4 & Ho5

S/N	Hypothesis	Category of Staff	N	-X	SD	T-CD	DF	T.TAB
1.	There is no statistically significant impact of sustainability strategies on contemporary business management	-Top management -Other staff	20 80	4.01	1.05	-1.62	541	1.96
2.	There is no	-Top	20	3.89	1.01	-1.62	541	1.96

	significant impact of management the environmental, social and governance (ESG) principles on corporate planning	Other staff	80					
3.	There is no statistically significant impact of the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability	Top management Other staff	20 80	4.05	1.05	-1.62	541	1.96
4.	There is no statistically significant impact of NNPC headquarters in its application of ESG principles on corporate planning	Top management Other staff	20 80	4.10	1.08	-1.62	541	1.96
5.	There is no statistically significant impact	Top management	20	4.02	1.05	-1.62	541	1.96

	of the challenges and implications for the NNPC Abuja in its application of ESG principles on corporate planning	Other staff	80			
--	--	-------------	----	--	--	--

Researcher's Fieldwork, 2025

4.3 Discussion of Findings

The findings of this study sparked off some useful strategic management discuss that may further be expanded in future research works in this area of study. This study asserts that a strategic approach to ESG integration characterized by assessing materiality, integrity measuring and reporting ESG performance, engaging stakeholders, and continuous improvement is essential for maximizing the value and impact of ESG initiatives. This position is in tandem with the works of Onwuka & Adu, 2024; Onwuka et al., 2023).

Again, the study findings highlight that successful integration requires strong leadership commitment, and vision. Organizations that practice sustainability at the highest levels of management are more likely to overcome internal resistance, allocate resources effectively, and drive meaningful change throughout the organization. This position was in agreement with the works of Daramola et al., 2024, and Oduro et al., 2024).

The study's findings equally revealed that meaningful stakeholder engagement is essential for identifying material ESG issues, building trusts, and driving collaboration. Organizations that engage with diverse range of stakeholders, including investors, employees, suppliers, communities, and regulators, can gain valuable insights, align expectations and, co-create solutions to corporate sustainability challenges. The above findings is at par with the works of Uzougbo et al., 2024; and Ikegwu, 2023.

This study equally reiterated that ESG consideration should be integrated into the core of the business strategy and decision-making processes. By aligning ESG goals with overall business objectives, organizations can create synergies, maximize value creation, and foster a culture of sustainability throughout the organization. This position was in agreement with the previous works carried out by Ibe et al., 2018; Adanma & Ogunbiyi, 2024; and Abati et al., 2024.

Finally, the study's findings reveal that robust measurement and reporting mechanisms are essential for tracking progress towards ESG goals and demonstrating accountability to stakeholders. Organizations should establish clear and consistent reporting frameworks, disclose relevant performance over time. ESG integration is an ongoing process that requires continuous monitoring, evaluation, and adaptation. This was the conclusion drawn from the previous works of (Oyinkansola, 2024 and Adeusi et al., 2024).

4.3.1 Hypotheses Testing Hypothesis (Ho1):

Hypothesis (Ho1) states that there is no statistically significant impact of sustainability strategies on contemporary business management. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). The null hypothesis (Ho1) is therefore rejected while the alternate hypothesis is therefore accepted.

Hypothesis (Ho2):

Hypothesis (Ho2) states that there is no statistically significant impact of the environmental, social, and governance (ESG) principles on corporate planning. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho2) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

Hypothesis (Ho3):

Hypothesis (Ho3) states that there is no statistically significant impact of the importance of environmental, social, and governance (ESG) principles on organizational sustainability and profitability. The above hypothesis was tested at 0/05 alpha level of significance. From table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho3) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

Hypothesis (Ho4):

Hypothesis (Ho4) states that there is no statistically significant impact of NNPC Headquarters in the application of ESG principles in corporate planning. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4,2 above, the calculated t-values (-1,62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho4) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

Hypothesis (Ho5):

Hypothesis (Ho5) states that there is no statistically significant impact of the challenges and implications for the NNPC Headquarters Abuja in its application of ESG principles in corporate planning. The above hypothesis was tested at 0.05 alpha level of significance. From the table 4.2 above, the calculated t-values (-1.62) is less than the t-tabulated (1.96). Hypothesis (Ho5) is therefore rejected while the alternate hypothesis is hereby accepted.

5.1 Conclusion

In conclusion, ESG integration offers numerous benefits to organizations, including enhanced financial performance, risk management, reputation, access to capital, and stakeholder engagement. A strategic approach to ESG integration, characterized by assessing materiality, integrating ESG considerations into business strategy, measuring and reporting ESG performance, engaging stakeholders and continuous improvement, is essential for maximizing the value and impact of ESG initiatives. Financial professionals play a crucial role in driving ESG integration within organizations. By reporting on ESG performance, financial professionals can help organizations realize the full potential of sustainability and create long-term value for shareholders and society. Looking ahead, ESG integration is poised to become increasingly important in shaping business models, investment decisions, and stakeholder relationships. As environmental and social challenges continue to escalate, organizations that prioritize sustainability and responsible business practices will be better positioned to navigate the complex challenges of the 21st century and create a more sustainable and inclusive future for all. By embracing ESG integration as a strategic imperative, businesses can drive positive change, foster innovation, and create shared value for stakeholders, society, and the planet.

5.2 Recommendations

Based on the suggestions provided by respondents and the findings of the study, the following recommendations are proposed to mitigate the impact of sustainability strategies on contemporary business management: integrating the environmental, social, and governance (ESG) principles in corporate planning using NNPC Headquarters Abuja FCT as a case study.

- a) A strategic approach to ESG integration, characterized by assessing materiality, integrating ESG considerations into business strategy, measuring and reporting ESG performance, engaging stakeholders, and continuous improvement, is essential for maximizing the value and impact of ESG initiatives.
- b) Successful ESG integration requires strong leadership commitment, and vision. Organizations that prioritize sustainability at the highest levels of management are more likely to overcome internal resistance, allocate resources effectively, and drive meaningful change

throughout the organization.

c) Meaningful stakeholder engagement is essential for identifying material ESG issues, building trusts, and driving collaboration. Organizations that engage with a diverse range of stakeholders, including investors, customers, employees, suppliers, communities, and regulators, can gain valuable insights, align expectations, and co-create solutions to corporate sustainability challenges.

d) ESG considerations should be integrated into the core of the business strategy and decision-making processes. By aligning ESG goals with overall business objectives, *organizations can create synergies, maximize value creation, and foster a culture of sustainability throughout the organization.*

e) Robust measurement and reporting mechanisms are essential for tracking progress towards ESG goals and demonstrating accountability to stakeholders. Organizations should establish clear and consistent reporting frameworks, disclose relevant performance over time. ESG integration is an-ongoing process that requires continuous monitoring, evaluation, and adaptation.

5.3 Implications of the Study

This study has several practical implications for firms and government. First, to promote sustainable economic development, regulatory authorities should strengthen the guidance and supervision of ESG practices and information disclosure. Our study shows that ESG implementation can improve corporate performance. Therefore, enterprises should actively participate in ESG practices.

Secondly, the application of digital technology has brought significant changes to industrial development. Companies should use digitalization as a tool to address the risks and challenges of the information age. Digital transformation can not only improve enterprise resource utilization efficiency but also reduce their environmental and social impact, thereby enhancing their ability for sustainable development.

Our study has some limitations that require future research. First, other research studies did not focus on specific industries, although various industries are affected by distinct factors, such as policy environments, market sizes, and user behaviours. This study focused on specific industry (the NNPC Limited, Abuja, FCT, Nigeria) for an in-depth analysis, such as explaining the concrete mechanisms of the impact of ESG practices on financial performance in the oil industry. Second, considering difficulties in data collection, we only focused on a single organization in the oil industry that have disclosed ESG information. Other key industries such as manufacturing and textile and small and medium-scale enterprises (SMEs) serving as major sources of employment and providing consumers with valuable and innovative goods and services, should equally be studied.

REFERENCES

- Adanma, U. M., Ogunbiyi, E. O. (2024). A comparative review of global environmental policies for promoting sustainable development and economic growth. *International Journal of Applied Research in Social Science*, 6(5), 954-977.
- Adebayo, A. O., Ogunbiyi, E. O., Adebayo, L.O., Adewuyi, S. (2021). Schiff Base Modified Chitosan Irin (III) Complex as new Heterogeneous Oxidative Catalyst. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 46(2).
- Adelakun, B. O. (2023). Tax Compliance in the Gig Economy: The Need for Transparency and Accountability. *Journal of Knowledge Learning and Science Technology* ISSN: 2959- 6386 (online), 1(1), 191-198,
- Adenekan, O. A., Solomon, N.O., Simpa, P. K., & Obasi, S. C. (2024). Enhancing manufacturing productivity: A review of AI-Driven supply chain management optimization and ERP systems integration. *International Journal of Management and Entrepreneurship Research*, 6(5), 1607-1624.
- Adewusi, K. B., Jejenewa, T. O. (2024). Advancing financial transparency and ethical governance: innovative cost management and accountability in higher education and industry. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(5), 1533-1546.
- Ikegwu, C. (2022). Governance Challenges by the Bitcoin Ecosystem: The Way Forward. Jejenewa, T. O., Mhlono, N. Z., & Jejenewa, T. O. (2024). Theoretical Perspectives on Digital Transformation in Financial Services: Insights from Case Studies in Africa and the . United States. *Finance & Accounting Research Journal*, 6(4), 674-683.
- Joel, O. T., & Ogunbiyi, V. U. (2024). Geological Data Utilization in Renewable Energy Mapping and Volcanic Region Carbon Storage Feasibility. *Open Access Research Journal of Engineering and Technology*, 2024, 06(02), 063-078.
- Obasi, S. C., Solomon, N. O., Adenekan, O. A., & Simpa, P. (2024). Cybersecurity's role in environmental protection and sustainable development: Bridging technology and sustainability goals. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(5), 1145-1177.
- Oduro, P., Uzougbo, N. S., and Ugwu, M. C., 2024. Navigating legal pathways: Optimizing energy sustainability through compliance, renewable integration, and maritime efficiency. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(5), pp.1732-1751.
- Ogwanobi, V. U., & Joel, O. T. (2024). Geoscientific research's influence on renewable energy policies and ecological balancing. *Open Access Research Journal of Multidisciplinary Studies*, 2024, 07(02), 073-085.
- Onwuka, O. U., & Adu, A. (2024). Technological synergies for sustainable resource discovery: Enhancing energy exploration with carbon management. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(4), 1203-1213.
- Oyinkansola, A. B. (2024). The GIG Economy; Challenges for Tax System. *Journal of Knowledge Learning and Science Technology* ISSN: 2959-6386 (online, 5(5), 1695-1710.
- Simpa, P., Solomon, N. O., Adenekan, O. A., & Obasi, S. C. (2024). Strategic implications of carbon pricing on global environmental sustainability and economic development: A conceptual framework. *International Journal of Advanced Economics*, 5(5), 139-172.
- Solomon, N. O., Simpa, P., Adenekan, O. A., & Obasi, S. C. (2024). Sustainable nanomaterials' role in green supply chains and environmental sustainability. *Engineering Science & Advanced Research and Reviews*, 22(2), 564-580.
- Uzougbo, N. S., Ikegwu, C. G., & Adewusi, A. O. (2024). International enforcement of cryptocurrency transactions: Legal accountability and ethical considerations of AI in financial services. *GSC Advanced Research and Reviews*, 19(20), 130-142.