

CONFERENCE BOOK



AVRASYA
15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
MARCH 13 – 15, 2026
TBİLİSİ

ISBN : 978-625-5694-88-1

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE





**AVRASYA 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
MARCH 13 – 15, 2026
TBILISI**

Edited By
PROF. DR. HULYA CICEK

Issued: 25.03.2026
ISBN: 978-625-5694-88-1

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 46 papers have been presented by Turkish participants and 58 papers
by international participants.**

**Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"**

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.
Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: www.avrasyakongresi.org

Contact: avrasyakongreleri@gmail.com

CONFERENCE ID**AVRASYA 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES****DATE – PLACE****MARCH 13 – 15, 2026****TBILISI****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES**

**Turkey –Iran – Egypt - Saudi Arabia- UAE – Romania – Japan – Moldova – Indonesia -
Azerbaijan – Singapore -Qatar – Greece- Nigeria – Tanzania- Georgia- Taiwan - Ethiopia –
Kazakhstan -**

PRESENTATION**Oral presentation**

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.

Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Prof. Dr. Hülya Çiçek

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul - Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy -Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Prof. Dr. Sevinj Seyidova - Azerbaijan State Pedagogical University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak- Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova -Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın -Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto -Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ -Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti -Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həməzə Əliyev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları –

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia -

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade -Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül ATAĞ - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük -Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye

Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Sevinj Seyidova – Azerbaijan

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran
- Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya
- Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti – Kirgizistan
- Assoc. Prof. Dr. Serdar Neslihanoglu - Türkiye
- Assist. Prof. K. R. Padma – India
- Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan
- Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia
- Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria
- Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania
- Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia
- Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia
- Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran
- Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Uzbekistan
- Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria
- Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India
- Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam
- Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunaliyeva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Türkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye

Dr. Ayşe Baran - Türkiye

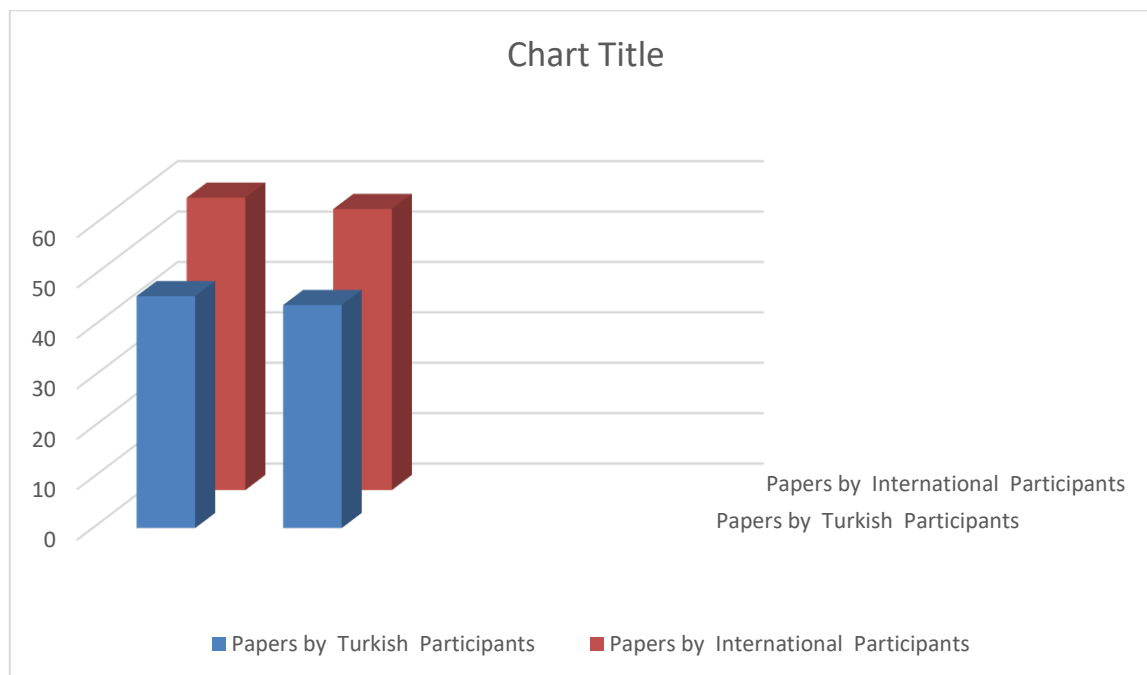
Dr. Dadash Mehravari – Iran

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	46	44,24
<i>Papers by International Participants (18 Countries)</i>	58	55,76





T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı :E-98102723-903.07-475454

Konu :Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -

GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel

Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ArtAsya 5TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
March 13 – 15, 2026
TBILISI

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=f0YazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1>

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderatör olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

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 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,

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Seda Gözde Tokatlı	1	ÇİN'İN KÜRESEL YÖNETİŞİMDE ARTAN ETKİNLİĞİNE YÖNELİK ANALİZ: YAPISAL DÖNÜŞÜMÜN İZLERİ	Dr. Seda Gözde Tokatlı
		2	BALKANLAR'DA DIŞ AKTÖRLERİN STRATEJİK REKABETİ: KUZEY MAKEDONYA ÖZELİNDE SOSYOPOLİTİK YANSIMALAR	Dr., İsa Deari
		3	FİNANSAL YAPTIRIMLAR VE İNSANİ YARDIMIN SINIRLARI: AFGANİSTAN VE KÜBA VAKALARI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Dr. Arş. Gör. Yusuf Fidan
		4	SILK ROAD: HISTORICAL ORIGINS OF TRADE BETWEEN CENTRAL ASIAN COUNTRIES	Yahya AYYILDIZ Murat ARISAL

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Yusuf BAYRAKTUTAN	1	AGRICULTURAL INTRA-INDUSTRY TRADE OF TURKIYE: AN ANALYSIS WITH THE GRUBEL-LLOYD INDEX	Kübra AKGÜNEŞ KOÇ Dr. Öğr. Üyesi Hanife BİDİRDİ Prof. Dr. Yusuf BAYRAKTUTAN
		2	PAYMENT METHODS FOR FOREIGN TRADE: THE TURKISH EXPERIENCE (2013-2023)	Prof. Dr. Yusuf BAYRAKTUTAN Kübra AKGÜNEŞ KOÇ
		3	TÜRKİYE VE 12 IBBS BÖLGESİNDE GİRİŞİMCİLİK VE YARATICI YIKIM	Nuriye Uygun
		4	TÜRKİYE'NİN İHRACAT VE ÜRETİMİN TEKNOLOJİ YOĞUNLUĞUNUN YILLARA GÖRE ANALİZİ	Öğr. Gör. Kartal TÜRK Öğretim Görevlisi Dilek TÜRK Öğr. Gör. Cemal EROĞLU
		5	YEŞİL KORUMA POLİTİKALARI VE EKONOMİK MİLLİYETÇİLİK: KÜRESEL TİCARET DÜZENİNDE BİR DÖNÜŞÜM	Doç. Dr. Burcu YILMAZ ŞAHİN Dr. Öğr. Üyesi Halit Levent ORMAN
		6	KÜRESELLEŞME, TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM VE EMEK GELİR PAYI: TEORİK BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Burcu YILMAZ ŞAHİN Dr. Öğr. Üyesi Halit Levent ORMAN
		7	TÜRKİYE'DE TARIM VE GIDA GÜVENCESİNE YÖNELİK MALİYE POLİTİKALARININ ON İKİNCİ KALKINMA PLANI PERSPEKTİFİNDEN İNCELENMESİ	Dr. İsmail KOÇ
		8	THE IMPACT OF REGIONAL ECONOMIC INTEGRATIONS ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE GLOBALIZATION PROCESS	Yüksek Lisans Öğrencisi, Duda ASLAN Prof. Dr. Cemal Erdem HEPAKTAN
		9	THE IMPACT OF THE RULE OF LAW ON TAX REVENUES IN OECD COUNTRIES	Dr. Öğr. Üyesi, Sedat POLAT Doç. Dr. Mehmet AVCI
		10	ANALYSIS OF ECONOMIC RELATIONS BETWEEN TURKIYE AND KAZAKHSTAN FROM THE PERSPECTIVE OF KAZAKHSTAN'S ECONOMIC GROWTH	Graduate Student, Alparslan Kürşad AYDOĞDU Asst. Prof. Dr. , Aynura TURDALIYEVA

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Nurettin GÜLMEZ	1	THE JADIDIYYA MOVEMENT IN KASHGAR	Prof. Dr. Ramazan BİÇER
		2	INTELLECTUAL AND CULTURAL LIFE IN SARAJEVO	Prof. Dr. Ramazan BİÇER
		3	THE PROBLEM OF CATEGORIES AS THE MOST GENERAL MODES OF BEING OR AS THE ACTIVE INSTRUMENTS OF OUR FACULTY OF UNDERSTANDING: THE CASE OF ARISTOTLE AND KANT	Arş. Gör. Dr. Ömer Faruk Karaköse
		4	BEYLİKLER DÖNEMİNDE (XIII-XIV. YÜZYILLAR) MOĞOLLARIN ANADOLU'DAKİ FAALİYETLERİ (SİYASİ, ASKERİ VE SOSYO-KÜLTÜREL BİR DEĞERLENDİRME)	Dr. Öğr. Üyesi, Tunay KARAKÖK
		5	ORTA ANADOLU HAVZASINDA BİR TÜRK BEYLİĞİNİN SİYASİ VE SOSYO- EKONOMİK VARLIĞI (TURGUTOĞULLARI BEYLİĞİ)	Dr. Öğr. Üyesi, Tunay KARAKÖK
		6	KULA HALKEVİ İÇİN BİNA YAPMA, TADİLAT VE TAMİRAT, BİR BÜROKRASI MACERASI	Prof. Dr. Nurettin GÜLMEZ
		7	MANİSA HALKEVİNİN KİTAP VE OKUYUCU SAYISINI ARTIRMA ÇABALARI	Prof. Dr. Nurettin GÜLMEZ
		8	KAÇAR REFORMLARININ BAŞLANGICINDA AVRUPA'YA ÖĞRENCİ GÖNDERME POLİTİKASI (1811)	Doç. Dr. Abdolvahid Soofizadeh
		9	İSTİKLAL HARBİ'NİN TÜRK MÜCAHİDELERİ: TBMM TARAFINDAN İSTİKLAL MADALYASI TALTİF EDİLMİŞ KADINLAR	Murat BIYIK
		10	I BAKU TURCOLOGY CONGRESS: BAKU ENVIRONMENT AND AZERBAIJAN REPRESENTATIVE DELEGATION	Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof.Dr. F.Gül KOÇSOY	1	AN ANTIMILITARIST AMIDST THE NAZI GENOCIDE: ERICH MARIA REMARQUE	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	PERCEPTION OF NATURE IN “NEIGHBOUR ROSICKY” AND THE OLD MAN AND THE SEA	Prof.Dr. F.Gül KOÇSOY
		3	A TRADITION LINKING THE PAST TO THE FUTURE: LOG THROWING	Doç. Dr., Mustafa SOLMAZ
		4	THE INTEGRATION OF TURKIC PEOPLES CULTURES AND THE NEED FOR IT	Najmidinova Guzal Akhlitdinovna
		5	PARSING TURKISH COMPLEX SENTENCES WITH FILLERS: SUGGESTIONS FOR A STUDY DESIGN	Dr. Öğr. Üyesi Taylan Akal

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
Room 5	Gültekin Gürçay	1	EXAMPLES FROM THE LOUVRE MUSEUM TILE ART AND LUSTER TECHNIQUE	Doç.Dr., Mine Erdem Koroğlu
		2	THE USE OF RESOURCE BOOKS IN TEACHING GLASS ART PRODUCTION TECHNIQUES: A COMPREHENSIVE CONTENT ANALYSIS OF THE STAINED GLASS RESOURCE BOOK	Öğretim Görevlisi, Beril REİS
		3	VİNCENT VAN GOGH: KÜLTÜREL HAFIZANIN GÜNÜMÜZ MODASINDAKİ ESTETİK DÖNÜŞÜMÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Madinabonu BURIEVA Dr. Öğr. Üyesi, Nursen GEYİK DEĞERLİ
		4	THE SEMANTIC CONSTRUCTION OF COLOR IN CONTEMPORARY PHOTOGRAPHY: A REVIEW OF WILLIAM EGGLESTON AND GREGORY CREWDSON	Yüksek Lisans Öğrencisi, Mukaddes NEŞET Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Uluç CEYLANI
		5	URBAN LAYERS AND VISUAL ARCHAEOLOGY: SURFACE AND MEMORY STRATEGIES IN MARK BRADFORD'S COLLAGE PAINTINGS	Asst. Prof. Dr. Burak Yavuzylmaz
		6	KARANLIĞIN ONTOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ: ARAVAGGIO'DAN AD REINHARDT'A TEMSİL VE MEKÂNSAL BİR KARŞILAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Berkan DERYAL Dr. Öğr. Üyesi Burak YAVUZYILMAZ
		7	CLINICAL MUSIC THERAPY: A MUSICOLOGICAL AND MEDICAL ETHNOMUSICOLOGICAL OBSERVATION FROM NEW YORK	Aden Deniz Krynski Doç. Dr. Şeyma Ersoy Çak

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof. Dr. Munise Aksöz	1	ARTISTS-TEACHERS IN CONTEMPORARY TURKISH ART AND EDUCATION: THE EXAMPLE OF THE “GAZİ 80” GENERATION	Master’s Student Sema OCAKCI Assoc. Prof. Dr. Orhun TÜRKER
		2	A STUDY ON SIGNIFICANCE OF TEACHING ENGLISH AT AN EARLY AGE	Prof. Dr. İbrahim Yaşar KAZU Çiğdem AKAYCAN
		3	STYLES IN ORHAN VELİ KANIK’S POEMS	Prof. Dr. Munise Aksöz
		4	BEING A CHILD LABORER: BITTER CHOCOLATE - SUNDUS SAHİN	Prof. Dr. Munise AKSÖZ
		5	THE ROLE OF THE 44-DAY PATRIOTIC WAR IN EDUCATING YOUNG PEOPLE IN THE SPIRIT OF PATRIOTISM	Prof.Hajar Hüseynova
		6	ÖĞRENCİLERİN AKADEMİK MÜKEMMELİYETÇİLİK DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	Dr.Öğrt.Üyesi Ramazan SANLAV Prof Dr.Ünsal TAZEGÜL
		7	ÖĞRENCİLERİN BESLENME BİLGİ DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	Prof Dr.Ünsal TAZEGÜL Dr.Öğrt.Üyesi Ramazan SANLAV

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES TBİLİSİ				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Öğr. Üyesi Merve ONUR	1	THE REFLECTION OF A MASTERPIECE OF ART ON TOURISM: VAN GOGH'S STARRY NIGHT AND THE RISE OF ART-INSPIRED TOURISM IN BOSNIA AND HERZEGOVINA	Res. Asst. Yağmur CAN GABERLİ
		2	A NEW ATTRACTION IN TURKISH TOURISM: EXAMINING UNESCO WORLD HERITAGE SITES FROM A SUSTAINABLE TOURISM PERSPECTIVE	Res. Asst. Yağmur CAN GABERLİ
		3	IDENTITY POLITICS IN GASTRONOMY: A CONCEPTUAL ASSESSMENT OF GASTRONOMICALISM, GASTRONATIVISM, AND GASTROREGIONALISM	Dr. Öğr. Üyesi Merve ONUR
		4	THE MODERATING ROLE OF FINANCIAL LITERACY IN THE EFFECT OF HEALTH LITERACY ON RATIONAL DRUG USE	Öğr. Gör. Dr. Sabit UYGUN
		5	EVALUATION OF LIFE INSURANCE COMPANIES' PERFORMANCE USING THE TOPSIS METHOD	Öğr. Gör. Dr. Sabit UYGUN
		6	İŞ YORGUNLUĞU VE KARIYER BAŞARISI İLİŞKİSİNDE PSİKOLOJİK SAĞLAMLIK: SAĞLIK SEKTÖRÜNDE SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ	Yüksek Lisans, Ayşenur HASOĞLU ENSERT

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Doç. Dr. ABİDİN KEMEÇ	1	INSTITUTIONAL SOCIAL RESPONSIBILITY THROUGH SESRE/REDC CELLS: ENHANCING COMMUNITY ENGAGEMENT, OUTCOMES, AND STRATEGIC DIRECTIONS	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma
		2	LEGAL NIHILISM: CAUSES, FORMS, AND PREVENTIVE MECHANISMS	Prof. Turdiyev Bexruz Sobirovich
		3	SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTLERİN SIRALANMASI: UI GRENCITYMETRIC İNDEKSİ	Doç. Dr. ABİDİN KEMEÇ Doç. Dr. ÖZKAN YALÇIN
		4	ÇEVRE İZLEME VE VERİ ANALİZİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI	Doç. Dr. ABİDİN KEMEÇ Doç. Dr. ÖZKAN YALÇIN
		5	TÜRKİYE’DE SOSYAL MEDYADA T.C. KİMLİK NUMARASI İLE DOĞRULAMA DÜZENLEMESİNE YÖNELİK KAMUOYU TEPKİLERİ: X (TWİTTER) ÜZERİNDEN BİR İÇERİK ANALİZİ	Ön Lisans Öğrencisi, Selen Akkoç Ön Lisans Öğrencisi, Aybüke Erişken Öğr. Gör. Dr. Bahar BALCI AYDOĞAN
		6	ULUSLARARASI HUKUKTA BAĞLAYICI OLMAYAN HUKUK METİNLERİNİN YARGITAY CEZA DAİRELERİNİN KARARLARINDAKİ YERİ	Sudem SARI
		7	EFFECTIVE REPENTANCE IN THE CRIME OF MANUFACTURING AND TRAFFICKING NARCOTIC OR PSYCHOTROPIC SUBSTANCES	Master’s Student, Ceren Okul
		8	MEDENİ USUL HUKUKUNDA KABUL KURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	Melike DEMİRER

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN	1	A CONTEMPORARY APPROACH TO CAPITAL STRUCTURE: A GENERAL OVERVIEW OF FINANCIAL HIERARCHY THEORY	Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN
		2	DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA ÜRETİM SÜREÇLERİNE ETKİSİ	Dr. Özlem Doğan Doç. Dr. Sinan Çavuşoğlu
		3	HAVAYOLU HİZMET KALİTESİNİ ÖLÇMEK İÇİN “AIRQUAL” ÖLÇEĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE MÜŞTERİ TATMİNİ VE DAHA FAZLA ÖDEME NİYETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Dr. Özlem Doğan Doç. Dr. Sinan Çavuşoğlu
		4	BAŞARIDA SÜREKLİLİK: BEŞ YILLIK MÜŞTERİ MEMNUNİYETİ YÜKSEK OLAN OTELLERİN ÖZELLİKLERİ	Prof. Dr. Sezen BOZYİĞİT
		5	İŞLETMELERİN ÇÖZÜM SÜRECİNE İLİŞKİN MÜŞTERİ YORUMLARININ İNCELENMESİ: ŞİKAYETVAR.COM VERİLERİ ÜZERİNDEN BİR ARAŞTIRMA	Prof. Dr. Sezen BOZYİĞİT
		6	A COMPARATIVE BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MARKETING LITERATURE: AN EXAMINATION BASED ON THE SCOPUS AND WEB OF SCIENCE DATABASES	Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan AYDIN
		7	NEW HORIZONS IN GREEN MARKETING RESEARCH: A BIBLIOMETRIC EVALUATION	Öğr.Gör.Dr. Ayşe Nur SOYSAL BİLMİŞ Dr. Öğr. Üyesi. Hasan Emin GÜRLER Prof.Dr.Mehmet ÖZÇALICI
		8	TÜRKİYE’DEKİ ÜNİVERSİTELERDE İDARİ PERSONEL PERFORMANS DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİNİN MEVCUT DURUMU: DOKÜMAN ANALİZİ	Elif TÜRK

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Imran Malik	1	INTEGRATING DIGITAL TECHNOLOGIES IN RURAL KAZAKHSTANI PRIMARY EDUCATION FOR ENHANCED STUDENT ENGAGEMENT	Dr. Aigerim Nurgaliyeva Dr. Yerzhan Kairatov Dana Sarsenova
		2	STEM EDUCATION REFORMS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING IN KAZAKHSTAN URBAN HIGH SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva Nursultan Tolegenov Aidana Bekbolatova
		3	TEACHER TRAINING PROGRAMS FOR INCLUSIVE EDUCATION IN IRANIAN SPECIAL NEEDS SCHOOLS	Dr. Reza Ahmadi Soraya Mahmoudi
		4	CURRICULUM DEVELOPMENT FOR CULTURAL HERITAGE EDUCATION IN IRANIAN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Hassan Rezaei Fatemeh Karimi
		5	BLENDED LEARNING MODELS IMPACT ON STUDENT PERFORMANCE IN PAKISTANI PUBLIC UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Imran Malik Dr. Sana Rehman
		6	VOCATIONAL EDUCATION REFORMS ADDRESSING UNEMPLOYMENT IN RURAL PAKISTAN	Ayesha Zubair Muhammad Faisal
		7	BILINGUAL EDUCATION CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN GEORGIAN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Nino Tsiklauri Dr. Levan Beridze
		8	DIGITAL LITERACY PROGRAMS FOR GEORGIAN TEACHERS IN REMOTE MOUNTAIN REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili
		9	INNOVATIVE ASSESSMENT METHODS IN GEORGIAN HIGHER EDUCATION CURRICULUMS	Irakli Kapanadze Dr. Tamar Lomidze Giorgi Chikhradze

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze	1	POSTCOLONIAL THEMES IN CONTEMPORARY PHILIPPINE NOVELS ADDRESSING LABOR MIGRATION TRAUMA	Prof. Dr. Maria Theresa Santos Dr. Jose Rizalino Cruz Luzviminda Reyes
		2	FEMINIST REINTERPRETATIONS OF MYTHOLOGY IN MODERN FILIPINO POETRY ANTHOLOGIES	Assoc. Prof. Dr. Elena Vasquez Ramon Dela Cruz Sofia Magdalena
		3	ARABIC POETIC FORMS EVOLUTION IN EGYPTIAN CONTEMPORARY LITERATURE UNDER POLITICAL CENSORSHIP	Dr. Ahmed El-Sayed Fatma Nour Karim Abdel Rahman
		4	NARRATIVES OF IDENTITY CRISIS IN POST-REVOLUTIONARY EGYPTIAN SHORT FICTION	Prof. Dr. Layla Hassan Mohamed Salem
		5	BALKAN IDENTITY CONFLICTS IN ALBANIAN DIASPORA LITERATURE WRITTEN IN TIRANA	Assoc. Prof. Dr. Luan Rama Ermal Hoxha Anila Kuci
		6	OTTOMAN LEGACIES IN MODERN ALBANIAN NOVELS EXPLORING COSMOPOLITAN ISTANBUL MEMORIES	Dr. Blerta Shala Flamur Leka
		7	POST-SOVIET GEORGIAN POETRY CYCLES REFLECTING CIVIL WAR TRAUMA AND NATIONAL REVIVAL	Prof. Dr. Nino Tsiklauri Levan Beridze Mariam Kapanadze
		8	SYMBOLISM OF MOUNTAIN MYTHOLOGY IN CONTEMPORARY GEORGIAN FOLK TALE ADAPTATIONS	Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze Giorgi Gelashvili Dr. Irakli Chikhradze Nato Javakhishvili
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Erion Veliaj	1	DIGITAL TRANSFORMATION CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR NIGERIAN SMEs IN POST-PANDEMIC ECONOMY	Prof. Dr. Chinedu Okeke Emeka Nwankwo
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN PRACTICES IN NIGERIA'S OIL AND GAS INDUSTRY	Assoc. Prof. Dr. Fatima Yusuf Adebayo Ogunleye Chioma Adewale
		3	TOURISM MARKETING STRATEGIES FOR GREEK ISLANDS IN COMPETITIVE MEDITERRANEAN MARKET	Dr. Eleni Papadakis Nikos Stavrou Maria Kostopoulos
		4	FAMILY BUSINESS GOVERNANCE MODELS IN CONTEMPORARY GREEK ENTERPRISES	Prof. Dr. Dimitri Karamanos Sophia Antoniou
		5	AGILE PROJECT MANAGEMENT ADOPTION IN ALBANIAN IT STARTUP ECOSYSTEM	Assoc. Prof. Dr. Erion Veliaj Anita Hoxha Lorin Kuka
		6	CROSS-BORDER E-COMMERCE DEVELOPMENT PROSPECTS FOR ALBANIAN RETAIL SECTOR	Dr. Blerta Lame Flamur Basha
		7	OIL DEPENDENCY DIVERSIFICATION THROUGH NON-ENERGY EXPORT PROMOTION IN AZERBAIJAN	Prof. Dr. Elnur Mammadov Dr. Aysel Karimova Farid Huseynov

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assoc. Prof. Dr. Dorina Thanasi	1	THE IMPACT OF CHINA'S BELT AND ROAD INITIATIVE ON BANGLADESH'S FOREIGN POLICY AUTONOMY	Assis. Prof. Dr. Rahman Karim Assoc. Prof. Dr. Fatima Begum Dr. Arif Hossain
		2	INDO-BANGLADESH WATER SHARING DISPUTES AND THEIR IMPLICATIONS FOR REGIONAL STABILITY	Sadia Islam Dr. Md. Faisal Ahmed Nusrat Jahan
		3	IRAQI-KURDISH FEDERALISM TENSIONS AND THEIR EFFECTS ON REGIONAL SECURITY DYNAMICS	Dr. Ali Hassan Al-Rawi Dr. Sara Mahmoud
		4	IRAN-IRAQ RELATIONS POST-ISIS: ENERGY DIPLOMACY AND SECTARIAN RECONCILIATION	Assoc. Prof. Dr. Khalid Omar Zainab Al-Sayed
		5	ALBANIA'S EU ACCESSION NEGOTIATIONS AND NATO INTEGRATION CHALLENGES	Prof. Dr. Liridon Sinani Dr. Anila Suljoti Ermal Deda
		6	TURKISH INFLUENCE IN THE WESTERN BALKANS: ALBANIA'S STRATEGIC POSITIONING	Assoc. Prof. Dr. Dorina Thanasi Blerta Hoxha
		7	AZERBAIJAN-GEORGIA-TÜRKİYE ENERGY CORRIDOR AND CASPIAN REGIONAL STABILITY	Prof. Dr. Elnur Paşa Dr. Leyla Aliyeva Assoc. Prof. Dr. Vugar Salamov
		8	RUSSIAN MILITARY PRESENCE IN THE SOUTH CAUCASUS: AZERBAIJAN'S COUNTERSTRATEGY	Dr. Araz Alizada Nigar Hasanova
		9	NATO EXPANSION DYNAMICS AND AZERBAIJAN'S MULTIVECTOR FOREIGN POLICY APPROACH	Ilham Abbasov Prof. Dr. Sevinc Nuriyeva

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Aiko Yamamoto	1	MICROFINANCE IMPACTS ON RURAL HOUSEHOLD INCOME DIVERSIFICATION IN BANGLADESH	Prof. Dr. Rahman Karim Assoc. Prof. Dr. Fatima Begum Dr. Md. Alamgir Hossain
		2	CLIMATE CHANGE EFFECTS ON BANGLADESH RICE PRODUCTION AND FOOD SECURITY POLICY	Dr. Shafiqul Islam Sultana Akter Md. Rafiqul Hasan
		3	AGING POPULATION CHALLENGES AND PENSION SYSTEM REFORMS IN JAPAN	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Assoc. Prof. Dr. Yumi Sato Kenji Nakamura
		4	ABENOMICS FISCAL POLICY EVALUATION AND JAPANESE PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY	Dr. Aiko Yamamoto Takeshi Kobayashi
		5	REMITTANCE FLOWS AND ECONOMIC GROWTH DYNAMICS IN KYRGYZSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Asanalieva Dr. Bakyt Torogeldiev Aida Tursunalieva
		6	ENERGY SECTOR REFORMS AND MACROECONOMIC STABILITY IN KYRGYZSTAN	Prof. Dr. Erlan Abdyl daev Nurlanbek Omuraliev
		7	SUEZ CANAL EXPANSION EFFECTS ON EGYPTIAN TRADE BALANCE AND GDP GROWTH	Dr. Omar Farouk Sara Mahmoud Karim El-Badry Prof. Dr. Hala Rizk
		8	EGYPTIAN TOURISM SECTOR RECOVERY POST-COVID AND EXCHANGE RATE IMPACTS	Dr. Fatima Hassan Mohamed Khalil Assoc. Prof. Dr. Nadia Abdelrahman
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Nadia Gamal	1	RURAL CRAFT REVIVAL THROUGH CONTEMPORARY BENGALI TERRACOTTA SCULPTURE TECHNIQUES	Prof. Dr. Rahim Chowdhury Anika Rahman Shafiqul Islam Mitu Begum
		2	MANGAL SHOBA JOURNEY ART INSTALLATIONS IN BANGLADESH URBAN PUBLIC SPACES	Assoc. Prof. Dr. Farzana Yasmin Kamal Hossain Rina Akter
		3	JAPANESE UKIYO-E PRINTMAKING INFLUENCES ON MODERN ANIME CHARACTER DESIGN	Yumi Sato Kenji Nakamura
		4	ZEN GARDEN AESTHETICS AND MINIMALIST SCULPTURE IN CONTEMPORARY JAPANESE INSTALLATIONS	Prof. Dr. Aiko Fujimoto Takeshi Yamamoto
		5	FELT CARPET MAKING TRADITIONS REVIVED IN KYRGYZSTAN CONTEMPORARY TEXTILE ART	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Asanalieva Ermek Nurlan Aida Tursunova
		6	EPIC MANAS NARRATIVE ILLUSTRATIONS IN MODERN KYRGYZ PAINTING TECHNIQUES	Dr. Bakyt Omuraliev Jamilya Kadyrova
		7	PHARAONIC WALL PAINTING TECHNIQUES IN EGYPTIAN CONTEMPORARY MURAL ART	Assis. Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Fatma Hassan Omar Khalil
		8	COPTIC TEXTILE PATTERNS REINTERPRETED IN MODERN EGYPTIAN FASHION COLLECTIONS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Gamal Tariq Mahmoud
		9	ISLAMIC GEOMETRIC PATTERNS IN CAIRO CONTEMPORARY MOSAIC INSTALLATIONS	Dr. Layla Salem Karim Abdelrahim

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Marija Petrovska	1	THE EVOLUTION OF ORTHODOX THEOLOGICAL THOUGHT IN CONTEMPORARY RUSSIAN CHURCH-STATE RELATIONS	Dr. Sergei Ivanov
		2	ESCHATOLOGICAL INTERPRETATIONS IN RUSSIAN ORTHODOX LITURGICAL TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Elena Smirnova Mikhail Volkov Dr. Natalia Petrova Father Alexei Kuznetsov
		3	ISLAMIC JURISPRUDENCE ADAPTATIONS TO MODERN ALGERIAN FAMILY LAW REFORMS	Prof. Dr. Karim Belkacem Dr. Amina Zahir Fatima Lounis
		4	SUFI MYSTICISM AND CONTEMPORARY SPIRITUALITY IN ALGERIAN MALIKI TRADITION	Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif Yacine Hadrami
		5	QURANIC HERMENEUTICS AND ENVIRONMENTAL ETHICS IN YEMENI ISLAMIC SCHOLARSHIP	Dr. Abdullah Al-Mansoori Faisal Ahmed Noor Ibrahim
		6	SHIITE THEOLOGICAL PERSPECTIVES ON INTERFAITH DIALOGUE IN CONTEMPORARY YEMEN	Prof. Dr. Huda Al-Qadhi Rami Nasser
		7	ORTHODOX CHRISTIAN BIOETHICS CONCERNING END-OF-LIFE CARE IN MACEDONIAN CONTEXT	Assoc. Prof. Dr. Nikola Popovski Elena Ivanovska Father Georgi Trajkovski
		8	BYZANTINE LITURGICAL INFLUENCES ON CONTEMPORARY MACEDONIAN CHURCH MUSIC	Dr. Marija Petrovska Goran Kostovski
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assis. Prof. Dr. Nikola Popovski	1	URBAN MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES AMONG RURAL MIGRANTS IN MOSCOW	Prof. Dr. Anna Kuznetsova Dr. Sergei Ivanov Olga Petrova
		2	ROMANI COMMUNITY SOCIAL EXCLUSION AND EDUCATIONAL DISPARITIES IN ÜSKÜP	Assoc. Prof. Dr. Marija Petrovska Saso Kostovski
		3	MULTICULTURAL INTEGRATION CHALLENGES FOR ALBANIAN IMMIGRANTS IN ÜSKÜP NEIGHBORHOODS	Assis. Prof. Dr. Nikola Popovski Elena Ivanovska Goran Trajkovski
		4	YOUTH RADICALIZATION PROCESSES THROUGH SOCIAL MEDIA IN URBAN YEMEN	Dr. Sana Al-Hadhrami Khalid Saeed
		5	TRIBAL CONFLICT DYNAMICS AND SOCIAL COHESION IN YEMENI MOUNTAIN COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Abdullah Al-Mansoori Faisal Ahmed Noor Ibrahim
		6	BERBER CULTURAL REVIVAL MOVEMENTS AND NATIONAL IDENTITY CONSTRUCTION IN CONTEMPORARY ALGERIA	Dr. Karim Belkacem Fatima Zahir Amina Lounis
		7	GENDER ROLES TRANSFORMATION IN ALGERIAN URBAN FAMILIES POST-ARAB SPRING	Prof. Dr. Nadia Cherif Yacine Hadrami

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assis. Prof. Dr. Ahmed Raza Dr. Samina Qureshi	1	CONTEMPORARY ISLAMIC ETHICS AND TECHNOLOGICAL PROGRESS IN SOUTH ASIAN SOCIETIES	Assis. Prof. Dr. Ahmed Raza Dr. Samina Qureshi
		2	POSTCOLONIAL CRITIQUES OF ANALYTIC PHILOSOPHY IN PAKISTANI ACADEMIC DISCOURSE	Assoc. Prof. Farhan Siddiqi Zoya Rahman Imran Khalid
		3	NEUROPHILOSOPHY, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND THE CONCEPT OF CONSCIOUSNESS IN SINGAPOREAN RESEARCH	Dr. Leonard Tan Assoc. Prof. Mei Lin Ong
		4	UTILITARIANISM, PUBLIC POLICY, AND MULTICULTURALISM IN CONTEMPORARY SINGAPORE	Prof. Dr. Adrian Teo Rachel Chia Daniel Lim
		5	AFRICAN COMMUNITARIANISM AND THE REINTERPRETATION OF HUMAN RIGHTS IN TANZANIAN PHILOSOPHY	Dr. Joseph Mwakalinga Agnes Nyerere
		6	ENVIRONMENTAL ETHICS, INDIGENOUS KNOWLEDGE, AND CLIMATE JUSTICE IN EAST AFRICA	Prof. Dr. Rehema Mushi Juma Khalfani Neema Mkapa
		7	ORTHODOX CHRISTIAN MYSTICISM AND EXISTENTIALISM IN MODERN SKOPJE THOUGHT	Assoc. Prof. Aleksandar Petrov Dragan Ilievski
		8	NATIONAL IDENTITY, MEMORY POLITICS, AND PHILOSOPHIES OF HISTORY IN NORTH MACEDONIA	Prof. Dr. Marija Stojanovska Elena Kostov Milan Jovanović
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assist. Prof. Dr. Kısmet Cingöz	1	COULD COUNTRY BRANDING MITIGATE THE NEGATIVE EFFECTS OF CONSUMER ANIMOSITY? A CONCEPTUAL DISCUSSION IN THE CONTEXT OF PRODUCTS AND TOURISM SERVICES	Yüksek Lisans Öğrencisi Emine TURGUT Dr. Öğr. Üyesi Fuat EROL
		2	THE ROLE AND ETHICAL ASPECTS OF SYNTHETIC DATA IN AI-POWERED MARKET RESEARCH	Doç. Dr. Cihat KARTAL Prof. Dr. Tülin DURUKAN Dr. Öğr. Üye. Serhat KARAOĞLAN
		3	THE CONFLICT BETWEEN A CULTURE OF FRUGALITY AND CONSUMPTION-ORIENTED MARKETING STRATEGIES	Prof. Dr. Tülin DURUKAN Doç. Dr. Cihat KARTAL Dr. Öğr. Üye. Serhat KARAOĞLAN
		4	EVALUATION OF CRITERIA AFFECTING SUPPLY CHAIN RESILIENCE USING DEMATEL METHOD	Assist. Prof. Dr. Kısmet Cingöz
		5	Sürdürülebilirlik Raporlarında CEO Mesajları: Gerçek ve Yapay Zekâ Üretimi Söylemlerin Karşılaştırmalı Analizi	Dr. Sema Nur Ünlübulduk
		6	INVESTIGATION OF THE IMPACT OF OMNICHANNEL CUSTOMER EXPERIENCE AND RETAILER TRUST ON CUSTOMER SATISFACTION AND CUSTOMER LOYALTY	Dr. Öğr. Üyesi Ercan KESER Uzm. Öğrt. Mustafa KAVALCIOĞLU
		7	A FIELD STUDY TO INVESTIGATE THE IMPACT OF SUSTAINABLE CONSUMPTION BEHAVIOR ON CONSUMER MINIMALISM	Dr. Öğr. Üyesi Ercan KESER Arzu ELEM
		8	INTRA-INDUSTRY TRADE AND REVEALED COMPARATIVE ADVANTAGE IN THE TEXTILE SECTOR: EXAMINATION OF TÜRKİYE AND SELECTED TURKIC REPUBLICS	Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tahir Demirsel Doctoral Student Halime Kara

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. Ahmet YILDIRIM	1	HAVALİMANI İŞLETMELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ: İSTANBUL HAVALİMANI ÖRNEĞİ	Dr.Öğr.Üyesi, İbrahim RENÇBER
		2	THE EFFECT OF ORGANİZATİONAL FAVORİTİSM ON ORGANİZATİONAL CYNİCİSM: THE MEDIATING ROLE OF WORKPLACE OSTRACİSM AND THE MODERATING ROLE OF PSYCHOLOGİCAL SAFETY – A STUDY ON TEACHERS	Assoc. Prof. Dr. Ahmet YILDIRIM
		3	INTERFACE FRICTION AND E-CART ABANDONMENT IN ONLINE SHOPPING: A MIXED-METHODS STUDY	Res.Asst. Dr. Munise Hayrun SAĞLAM
		4	AI DISCLOSURE AND ANTHROPOMORPHIC CHATBOT DESIGN IN E-COMMERCE: EFFECTS ON PERCEIVED LEGITIMACY, BRAND TRUST, AND LEAD ACCEPTANCE	Res.Asst. Dr. Munise Hayrun SAĞLAM
		5	BİST TURİZM ENDEKSİ'NDE YER ALAN KONAKLAMA İŞLETMELERİNİN FİNANSAL PERFORMANSININ NAKİT AKIŞ PERSPEKTİFİNDEN İNCELENMESİ	Dr. Cemile Öcek Benli
		6	THE PSYCHOLOGICAL DYNAMICS OF CONSPICUOUS CONSUMPTION WITHIN THE CONTEXT OF CULTURAL CAPITAL: IS THE INTERNALIZATION PARADOX A REFLECTION OF POWERLESSNESS COMPENSATION?	Öğr. Gör. Dr. Esat SAYGIN
		7	IDEOLOGICAL IDENTITY INTENSITY IN THE CONTEXT OF POLITICAL MARKETING: THE IMPACT OF CULTURAL CAPITAL ON VOTER BEHAVIOR	Öğr. Gör. Dr. Esat SAYGIN Prof. Dr. Metehan TOLON

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem YEL	1	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE YAŞAM REFLEKSİVİTE PLANLARIYLA UMUTSUZLUK DÜZEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	BÜŞRA NUR DEMİR
		2	EMOTION REGULATION DIFFICULTIES AS A PREDICTOR OF LIFE SATISFACTION IN SOCIAL MEDIA USERS.	Psychological Counselor Samed Otsup
		3	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN LIFE REFLEXIVITY PLANS AND LIFE SATISFACTION IN UNIVERSITY STUDENTS	Elif TEMEL
		4	AN EXAMINATION OF SOCIAL MEDIA ADDICTION IN TERMS OF SELF-ESTEEM AND SELF-EFFICACY	Zeynep GÜL Dr. Öğr. Üyesi Şule AYDIN YERAL
		5	EVDE BAKIM HASTALARINA BAKIM VEREN BAKICILARIN BAKIM YÜKÜ VE HEMŞİRELİK	Yüksek Lisans Öğrencisi Niğmet AKGÜL Dr. Öğr. Üyesi, Özge ÖZ YILDIRIM
		6	YAŞAM BOYU ÖĞRENME ÖRNEĞİ OLARAK TAZELENME ÜNİVERSİTELERİ	Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem YEL Yüksek Lisans Öğrencisi Duygu ÖNCÜ
		7	YAŞLILIK OLGUSUNUN YERLİ FİMLERE YANSIMASI	Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem YEL Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe Nur AYDOĞAN
		8	THE EFFECT OF SOCIOCULTURAL ADAPTATION ON ACADEMIC ACHIEVEMENT AMONG INTERNATIONAL STUDENTS	Lisans Öğrencisi Rojbin Yıldız Lisans Öğrencisi Songül Acet DOÇ. DR. Diğdem Lafçı Bakar
		9	AİLEDE UYUMU YAKALAMADA İLETİŞİMİN ROLÜ	Prof. Dr. Dolunay ŞENOL Emine BEDİR ŞERBETÇİOĞLU

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican	1	WATER LITERACY WITHIN THE SCOPE OF SUSTAINABILITY	Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican
		2	ALGAE AND AQUACULTURE: A COMPREHENSIVE STUDY OF ECO-FRIENDLY	Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican
		3	ALGAE-BASED NANOTECHNOLOGY	Doç. Dr., Latife Ceyda İRKİN
		4	ALGAE and BIOTECHNOLOGY	Doç. Dr., Latife Ceyda İRKİN
		5	EFFECT OF GEOGRAPHICAL DIFFERENCES ON PHENOLIC PROFILE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN BETULA PENDULA SAMPLES	Öğr. Gör. Dr. Gizem Yıldırım Baştemur Zeynep Ünsal
		6	GATE-TO-GATE WATER FOOTPRINT ASSESSMENT OF AN INTEGRATED EDIBLE OIL PRODUCTION FACILITY	Merve Ömürlü Assoc. Prof. Dr. Ezgi Oktav Akdemir
		7	MEVSİMSELLİK-BİTKİ-RENK İLİŞKİSİ: TEKİRDAĞ'IN MEVSİMSSEL RENK KARAKTERİ	Yaren ŞAHİN Prof. Dr. Tuğba KİPER
		8	PEYZAJDA RENK ARAŞTIRMALARINA YÖNELİK BİLİMSSEL EĞİLİMLER: SCOPUS TABANLI BİR DEĞERLENDİRME	Prof. Dr. Tuğba KİPER Yaren ŞAHİN
		9	BIOPHILIC DESIGN IN CHILDREN'S PLAYGROUNDS: A COMPARATIVE EVALUATION	Associate Prof. Makbulenur ONUR Asist.Prof. Dr., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN
		10	COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BIOPHILIC URBAN APPROACH THROUGH THE CITIES OF SINGAPORE AND BERLIN	Associate Prof. Makbulenur ONUR Asist.Prof. Dr., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Öğr. Üy. Zehra Aydın	1	2020-2023 DÖNEMİNDE ACİL SERVİSE EPİSTAKSİS NEDENİYLE BAŞVURAN HASTALARIN RETROSPEKTİF ANALİZİ	Doç.Dr.Ramazan KIYAK Doç.Dr.Bahadır ÇAĞLAR Doç.Dr.Süha SERİN
		2	ALOE VERA’NIN FARMAKOLOJİK ETKİLERİ VE HASTA BAKIMINDA KULLANIMINA GENEL BİR BAKIŞ	Mehtap KAVURMACI Yakup DİLBİLİR
		3	KRONİK BÖBREK YETMEZLİĞİ KAYNAKLI ÖDEM VE HEMŞİRELİK BAKIMI	Mehtap KAVURMACI Yakup DİLBİLİR
		4	THE ROLE OF NURSING CARE AFTER ACUTE KIDNEY INJURY: DIAGNOSIS, MONITORING, AND RENAL RECOVERY	Dr. Öğr. Üy. Zehra Aydın
		5	INTEGRATED NURSING CARE IN COPD AND HEART FAILURE: A CARDIOPULMONARY APPROACH	Dr. Öğr. Üy. Zehra Aydın
		6	WOMEN’S REPRODUCTIVE HEALTH IN WAR	Asst. Prof. Nurdilan ŞENER ÇETİN
		7	THE EFFICACY OF NbB 2 -REINFORCED SHIELDING IN CLINICAL SETTINGS	Lecturer Dr. Zübeyde ÖZKAN
		8	ADİPONEKTİN HORMONUNUN SKMEL-30 HÜCRELERİNDE METASTAZ İLE İLİŞKİLİ GEN EKSPRESYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Nebiye Pelin TURKER
		9	MINIMAL INVASIVE REHABILITATION OF MAXILLARY AND MANDIBULAR ANTERIOR DIASTEMAS WITH DIRECT RESIN COMPOSITE: A CASE REPORT	Yasamin Alekadi Fatih Bedir

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof.Dr. Ali Can YILMAZ	1	EMNİYET KEMERİ DOKUMASINDA SÜRTÜNME KAYNAKLI ISINMA ve LİF HASARI: KAPLAMA ile İYİLEŞTİRME	Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ Prof.Dr. Ali Can YILMAZ
		2	OTOMOTİV KOLTUK DÖŞEMELERİ İÇİN ZnO/Ag ANTİBAKTERİYEL ve KOKU GİDERİCİ BİTİMLERİN ETKİNLİĞİ VE DAYANIMI	Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ Prof.Dr. Ali Can YILMAZ
		3	PROCESS ENGINEERING AND SUSTAINABILITY ASPECTS OF 3D PRINTING FOR FRUIT AND VEGETABLE-BASED FOODS	Assoc. Prof. Dr. Tuğçe TEZEL Prof. Dr. Volkan KOVAN
		4	INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT AND VENTILATION PERFORMANCE: A REVIEW OF CFD-BASED AIRFLOW ANALYSIS AND AIRBORNE INFECTION RISK MODELING	Assoc. Prof. Dr. Tuğçe TEZEL Prof. Dr. Volkan KOVAN
		5	DETERMINATION OF LUMINESCENCE PROPERTIES OF RARE EARTH DOPED $KCa_4(BO_3)_3$ NANOPHOSPHORS	Yüksek Lisans Öğrencisi Alara ÇAN Prof.Dr. Ümit Hüseyin Kaynar Prof.Dr. Elçin Ekda Karalı
		6	AFYON İLİ DİNAR İLÇESİ İÇME VE KULLANIM SULARINDA RADON ÖLÇÜMLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Sevil Nur Şahin Prof. Dr. Murat Saç
		7	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF LIMONENE CONTAINING NANOCOMPOSITES	Eslem UYSAL Dr. Sedef KAPTAN USUL Assoc. Prof. Dr. Ayşe ASLAN Canpolat
		8	ROUGH FIELDS BASED ON UPPER APPROXIMATION AND MAXIMAL ROUGH IDEALS	Mehmet Mustafa BEYDAĞI Prof. Dr. İlhan İÇEN Prof. Dr. A. Fatih ÖZCAN
		9	ROUGH SET APPROACH AND APPLICATIONS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Mehmet Mustafa BEYDAĞI Prof. Dr. A. Fatih ÖZCAN Prof. Dr. İlhan İÇEN

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Öğr. Üyesi Merve ONUR	1	TÜRKİYE'DE KOYUN, KEÇİ VE MANDA SÜTÜ VE ÜRÜNLERİNE YÖNELİK TÜKETİCİ TERCİHLERİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	Zir. Müh. İsmihan İmiş Prof. Dr. Nevin Demirbaş
		2	TÜRKİYE'DE İYİ TARIM UYGULAMALARI İLE BİTKİSEL ÜRETİM YAPAN TARIM İŞLETMELERİNİN EKONOMİK SONUÇLARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	Zir. Müh. İsmihan İmiş Prof. Dr. Nevin Demirbaş
		3	THE IMPORTANCE OF CORN (Zea mays) AND ALFALFA (Medicago sativa) SILAGES IN RUMINANT NUTRITION	Osman OSMANLI Prof. Dr. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU
		4	POTENTIAL USE OF MULBERRY LEAVES AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE IN CORN SILAGE	Fariz ABİSHOV Prof. Dr. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr., Elif Çağda Kandemir	1	COMPARATIVE STUDY OF ENERGY DISTRIBUTION OVER FREQUENCY BANDS IN NEAR- AND FAR-FAULT EARTHQUAKES	Prof. Dr., Elif Çağda Kandemir
		2	COMPARISON OF WAVELET FUNCTIONS FOR NEAR- AND FAR-FAULT EARTHQUAKE RECORDS	Prof. Dr., Elif Çağda Kandemir
		3	2000 ÖNCESİ İNŞA EDİLEN BETONARME BİR YAPININ LİFLİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	Prof. Dr. Ercan IŞIK Doç. Dr. Fatih AVCİL Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
		4	DEPREME DAYANIKLI KENTSEL PLANLAMA	Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ Prof. Dr. Ercan IŞIK Doç. Dr. Fatih AVCİL
		5	GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK GERİLİM KARARLILIĞI İÇİN YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİNİN ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYMAZ Prof. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU
		6	ÇBAG TABANLI RÜZGAR ÇİFTLİĞİNDE GATE KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR (GCSC) KULLANILARAK ALT-SENKRON REZONANS DURUMLARININ İNCELENMESİ	Prof. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU Doç. Dr. Mustafa DURSUN
		7	TEDARİK ZİNCİRİ RİSK ANALİTİĞİ: ENERJİ SEKTÖRÜNDE ÇOK BOYUTLU BİR UYGULAMA	Ahmet GÜRGAŞIN
		8	VERİ YÖNETİŞİMİ VE UYGULAMALARI: KAVRAMSAL ÇERÇEVEDEN ENERJİ SEKTÖRÜNDE DEĞER ÜRETİMİNE	Ahmet GÜRGAŞIN

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assoc.Prof.Dr.Vedat Adıgüzel	1	SEGMENTATION OF SKIN CANCER DISEASE USING DEEP LEARNING METHODS	Aybüke BOZKURT YENİYER Prof. Dr. Necaattin BARIŞCI
		2	MRI GÖRÜNTÜLERİNDE VİT-S/16 VE RESNET50 İLE BEYİN TUMÖRÜ TESPİTİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammed Yusuf İTMİŞ Doç. Dr. Feyza ALTUNBEY ÖZBAY Doç. Dr. Erdal ÖZBAY
		3	KUERSETİNİN EPİDERMAL BÜYÜME FAKTÖRÜ RESEPTÖRÜNE BAĞLANMA POTANSİYELİNİN MOLEKÜLER YERLEŞTİRME YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI	Lisans Öğrencisi, Zerde Yıldırım Dr. Öğretim Üyesi, Şerife Gökçe Çalışkan
		4	THE TRANSPLANTATION OF BROWN AND WHITE ADIPOSE ORGANOIDS TO CD1 NUDE MICE	Ezgi Bulut-Okumuş Prof. Dr. Ayşegül Doğan
		5	INVESTIGATION OF THE CHANGES IN CONDUCTIVITY AND SALINITY OF THE $\text{NaH}_2\text{PO}_2\text{--Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{--H}_2\text{O}$ TERNARY SYSTEM WITH TEMPERATURE AND SOLUBILITY	Asoc.Prof.Dr.Vedat Adıgüzel Asist.Prof.Dr. Sevilay Demirci Prof.Dr.Ömer Şahin
		6	INVESTIGATION OF CONDUCTIVITY AND SALINITY BEHAVIOR IN AQUEOUS SYSTEMS CONTAINING Na^+ , Zn^{2+} AND Cl^- IONS	Asoc.Prof.Dr.Vedat Adıgüzel Asist.Prof.Dr. Sevilay Demirci Prof.Dr.Ömer Şahin

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assis. Prof. Dr. Elias Njoroge	1	THE SYMBOLISM OF GEOMETRIC PATTERNS IN PERSIAN CARPET DESIGN TRADITIONS	Prof. Dr. Reza Hosseini Dr. Soraya Mahmoudi Assis. Prof. Dr. Ali Karimi
		2	MINIATURE PAINTING TECHNIQUES AND NARRATIVE COMPOSITION IN SAFAVID ILLUMINATED MANUSCRIPTS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Ahmadi Mohammad Jafari Leila Bahrami
		3	CONTEMPORARY SINGAPOREAN URBAN INSTALLATIONS EXPLORING MULTICULTURAL IDENTITY	Dr. Wei Ling Tan Prof. Dr. Rajesh Kumar
		4	EVOLUTION OF CALLIGRAPHIC ABSTRACTION IN SINGAPORE ART SCHOOL CURRICULA	Mei Ling Wong Ahmad Bin Salleh
		5	TRADITIONAL TANZANIAN WOOD CARVING MOTIFS IN MODERN SCULPTURAL PRACTICE	Dr. Amina Hassan Juma Kweka Fatuma Said
		6	MAASAI BEADWORK SYMBOLISM AND CONTEMPORARY TANZANIAN JEWELRY DESIGN	Assis. Prof. Dr. Elias Njoroge
		7	OTTOMAN INFLUENCES ON ÜSKÜP MOSQUE TILEWORK AND DECORATIVE ARCHITECTURE	Elena Petrovska Nikola Popovski
		8	BYZANTINE FRESKO TECHNIQUES PRESERVED IN ÜSKÜP MEDIEVAL CHURCH INTERIORS	Dr. Marija Angelova Goran Trajkovski Biljana Kostovska
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. Catalin Radu	1	THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA ON ADOLESCENT SELF-ESTEEM AND BODY IMAGE PERCEPTION IN IRANIAN URBAN YOUTH	Prof. Dr. Reza Ahmadi Soraya Mahmoudi Ali Karimi
		2	CULTURAL FACTORS INFLUENCING DEPRESSION SYMPTOMS AMONG IRANIAN UNIVERSITY STUDENTS DURING ECONOMIC STRESS	Assoc. Prof. Dr. Fatemeh Hosseini Mohammad Jafari
		3	TRAUMA RECOVERY PROCESSES AMONG LEBANESE REFUGEES LIVING IN BEIRUT URBAN CAMPS	Dr. Layla Haddad Khalil Nassar Nadia Cherif
		4	PARENTING STYLES AND ACADEMIC ANXIETY LEVELS IN LEBANESE HIGH SCHOOL STUDENTS	Prof. Dr. Elias Sarkis Mariam Bou Eid
		5	WORKPLACE STRESS MANAGEMENT STRATEGIES FOR EXPATRIATE PROFESSIONALS IN QATAR	Assoc. Prof. Dr. Aisha Al-Thani Dr. Omar Khalid
		6	IDENTITY FORMATION CHALLENGES AMONG QATARI YOUTH IN MULTICULTURAL EDUCATIONAL SETTINGS	Fatima Rahman Sultan Al-Mansoori
		7	POST-PANDEMIC MENTAL HEALTH RESILIENCE AMONG ROMANIAN FRONTLINE HEALTHCARE WORKERS	Prof. Dr. Andrei Popescu Dr. Maria Ionescu Ioana Vasile
		8	INTERGENERATIONAL TRAUMA EFFECTS ON ROMANIAN FAMILIES AFFECTED BY COMMUNIST REGIME EXPERIENCES	Assoc. Prof. Dr. Catalin Radu Elena Dragomir
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Ionela Vasilescu	1	INNOVATIVE STEM EDUCATION MODELS INCORPORATING ISLAMIC SCIENTIFIC HERITAGE IN IRANIAN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Reza Ahmadi Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi Fatemeh Karimi
		2	INTEGRATING EUROPEAN UNION STANDARDS IN ROMANIAN TEACHER TRAINING PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Ionela Vasilescu Radu Popa Cristina Marinescu
		3	DIGITAL DIVIDE SOLUTIONS IN ROMANIAN VOCATIONAL EDUCATION FOR DISADVANTAGED YOUTH	Dr. Bogdan Stoica Lavinia Georgescu
		4	ROMANIAN RURAL SCHOOL DROPOUT PREVENTION THROUGH COMMUNITY-BASED LEARNING CENTERS	Assis. Prof. Dr. Mihai Popescu Elena Ionescu Andrei Stanescu Dr. Maria Dumitrescu
		5	INQUIRY-BASED SCIENCE EDUCATION FOR QATARI PRIMARY STUDENTS FOSTERING CRITICAL THINKING	Assoc. Prof. Dr. Aisha Al-Ketbi Sara Hassan
		6	VOCATIONAL TRAINING CURRICULA DEVELOPMENT FOR EGYPTIAN YOUTH UNEMPLOYMENT REDUCTION	Dr. Nadia Mahmoud Karim Abdelaziz
		7	QATARI EDUCATION REFORMS INTEGRATING ARABIC LANGUAGE PRESERVATION WITH GLOBAL COMPETENCIES	Dr. Khalid Al-Mansoori Fatima Rahman Noor Salem
		8	DIGITAL LITERACY PROGRAMS FOR RURAL IRANIAN GIRLS PROMOTING GENDER EQUALITY IN EDUCATION	Dr. Ali Jafari Leila Bahrami Mohammad Rezaei
		9	BLENDED LEARNING EFFECTIVENESS IN EGYPTIAN UNIVERSITY EFL CLASSROOMS POST-COVID	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Hassan Dr. Fatima El-Sayed Omar Khalil

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assis. Prof. Dr. Mohamed Salem	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS	Prof. Dr. Reza Jalali Dr. Soraya Mahmoudi Ali Karimi
		2	DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS	Assis. Prof. Dr. Hassan Ahmadi Fatemeh Rezaei
		3	QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES	Dr. Ahmed El-Sayed Nadia Hassan Karim Abdel
		4	GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS	Assis. Prof. Dr. Mohamed Salem Fatma Ibrahim
		5	ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori Noor Hassan Dr. Fatima Rahman
		6	NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING	Omar Saeed
		7	THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS	Prof. Dr. Andrei Popescu Dr. Maria Ionescu Ionela Dragomir
		8	BIODEGRADABLE POLYMERS FROM RENEWABLE ROMANIAN AGRICULTURAL WASTES	Assoc. Prof. Dr. Stefan Radu Elena Vasilescu Mihai Georgescu
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Sari Wijaya Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso	1	ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING	Dr. Aiko Nakamura Kenji Sato
		2	NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kobayashi Takeshi Yamamoto Mika Fujimoto
		3	TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS	Dr. Ionela Popa Victor Rusu
		4	NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS	Prof. Dr. Maria Ceban Andrei Lupascu Elena Bodarev
		5	TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES	Dr. Sari Wijaya Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso
		6	MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA	Nyoman Pratiwi Dr. Agus Setiawan Lina Kusuma
		7	ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS	Dr. Andrei Popescu Dr. Maria Ionescu

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Sophia Kiriakou	1	IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS	Prof. Dr. Elnur Hasanov Assoc. Dr. Aysel Mammadova Nigar Aliyev Kamran Ibrahimov
		2	AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS	Prof. Dr. Chen Li Wei Assoc. Prof. Dr. Nurul Aini Marcus Tan
		3	VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming Dr. Tan Hui Ling Rajesh Kumar
		4	SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS	Assis. Prof. Dr. Ahmed Bin Saeed Sara Al-Mansoori
		5	WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES	Dr. Fatima Al-Thani Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser Mariam Rahman
		6	ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE	Dr. Sophia Kiriakou Andreas Manolis
		7	OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS	Assoc. Prof. Dr. Dimitri Pappas Elena Stavrou Nikos Theodorou
		8	BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY	Dr. Farid Gurbanov Leyla Karimova Rashad Nuriyev
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Lim Hui Min Dr. Amir Singh	1	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS	Prof. Dr. Elnur Hasanov Dr. Aysel Mammadova Nigar Aliyeva
		2	PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION	Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov Dr. Leyla Ibrahimova Dr. Farid Rahimov
		3	MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE	Dr. Dimitri Papadakis Eleni Stavrou Prof. Dr. Nikos Karamanos
		4	THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE	Maria Kostopoulou Assoc. Prof. Dr. Theo Lazos
		5	NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES	Dr. Fatima Al-Mansoori Khalid Rahman Assoc. Prof. Dr. Ahmed Khalil
		6	PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN	ARID CLIMATES Prof. Dr. Noor Al-Harethi Sara Hassan
		7	ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE	Dr. Wei Ling Tan Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar Mei Ling Wong
		8	GENOMIC SEQUENCING OF ANTIBIOTIC-RESISTANT BACTERIA FROM SINGAPORE AQUACULTURE	Dr. Lim Hui Min Dr. Amir Singh
		9	ADVANCED WOUND HEALING THERAPIES FOR EXOTIC PETS IN TROPICAL ENVIRONMENTS	Assoc. Prof. Dr. Chloe Ng Benjamin Low

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Lucas Kileo	1	NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato Takeshi Yamamoto
		2	RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION	Dr. Chinedu Okonkwo Ngozi Eze Emeka Nwankwo
		3	BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY	Prof. Dr. Aisha Bello Tunde Adeyemi
		4	TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS	Dr. Juma Mtui Fatuma Ally Assoc. Prof. Dr. Elias Nnko
		5	NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE	Zainab Mwamba Dr. Lucas Kileo
		6	GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES	Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Beridze Lasha Kapanadze
		7	SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL	Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili Irakli Lomidze Dr. Tamar Chikhradze
		8	NANOCELLULOSE COMPOSITES FROM GEORGIAN FOREST WASTE FOR PACKAGING APPLICATIONS	Ketevan Jikia Prof. Dr. Davit Gvaramia
		9		

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Lasha Kapanadze	1	AI-ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS FOR SEMICONDUCTOR FABRICATION EQUIPMENT	Prof. Dr. Wei-Lun Chen Dr. Ming-Hsuan Li Yi-Jen Wang
		2	FLEXIBLE WEARABLE ANTENNAS FOR 5G HEALTH MONITORING DEVICES USING GRAPHENE NANOMATERIALS	Assoc. Prof. Dr. Shu-Yi Lin Hao-Ting Wu Chia-Wei Chang
		3	LOW-POWER IOT SENSOR NETWORKS FOR PRECISION AGRICULTURE IN ETHIOPIAN HIGHLANDS	Dr. Abel Tadesse Meron Getachew
		4	MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOLAR PANEL FAULT DETECTION IN REMOTE ETHIOPIAN VILLAGES	Dr. Selamawit Bekele Dawit Asfaw Tigist Yohannes
		5	WIDEBAND MILLIMETER-WAVE ANTENNA ARRAYS FOR 5G BASE STATIONS IN SAUDI DESERT ENVIRONMENTS	Assis. Prof. Dr. Khalid Alghamdi Faisal Alotaibi
		6	GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS	Dr. Noor Al-Mansour Abdullah Alharbi Sara Alghamdi
		7	RF ENERGY HARVESTING CIRCUITS FOR SMART CITY APPLICATIONS IN TBILISI URBAN INFRASTRUCTURE	Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Chikhradze Mariam Gelashvili Irakli Beridze
		8	MACHINE VISION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL QUALITY CONTROL IN GEORGIAN MANUFACTURING	Dr. Lasha Kapanadze
		9	LOW-COST FPGA-BASED SIGNAL PROCESSING FOR GEORGIAN SEISMIC MONITORING NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze Zura Metreveli

AVRASYA 15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 13 – 15, 2026 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 13 Mart / March 13, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Türkiye (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva,	1	MATERNAL NUTRITIONAL COUNSELING INTERVENTIONS BY NURSES FOR GESTATIONAL DIABETES PREVENTION IN RURAL KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Aigerim Zhumadilova, Dr. Nursultan Bektasov, Dana Tolegenova, Aidana Kassenova
		2	NURSE-LED PRENATAL EDUCATION PROGRAMS IMPROVING BIRTH OUTCOMES AMONG ADOLESCENT MOTHERS IN URBAN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Nurtayev, Aizhan Sadykova
		3	EFFECTIVENESS OF NURSE-IMPLEMENTED NON-PHARMACOLOGICAL PAIN RELIEF DURING LABOR IN IRANIAN MATERNITY WARDS	Dr. Sara Langaroudi, Assoc. Prof. Dr. Mehran Tavakoli, Yasaman Sharifi
		4	IRANIAN NURSES' ROLES IN EARLY DETECTION AND MANAGEMENT OF HYPERTENSIVE DISORDERS IN PREGNANCY	Prof. Dr. Mina Hosseini, Leila Bahrami
		5	NURSE-DRIVEN COMMUNITY HEALTH WORKER MODELS FOR MATERNAL ANEMIA SCREENING IN RURAL INDIAN VILLAGES	Dr. Anjali Mehta, Assoc. Prof. Dr. Prakash Nair, Sameer Kulkarni
		6	INDIAN NURSES' TRAINING PROTOCOLS FOR BREASTFEEDING SUPPORT AND LACTATION CONSULTATION IN POSTPARTUM CARE	Dr. Priya Neha
		7	GEORGIAN NURSES' IMPLEMENTATION OF MIDWIFERY-LED CARE MODELS FOR LOW-RISK PREGNANCIES	Assoc. Prof. Dr. Nino Chikhradze, Dr. Tamar Kapanadze, Giorgi Gelashvili
		8	CONTINUOUS MIDWIFE SUPPORT DURING LABOR AND ITS IMPACT ON CESAREAN SECTION RATES IN TBILISI HOSPITALS	Prof. Dr. Mariam Tsiklauri, Lasha Beridze
		9	NURSE EDUCATION PROGRAMS ON FETAL MONITORING TECHNIQUES FOR HIGH-RISK PREGNANCIES IN GEORGIA	Dr. Levan Lomidze, Assis. Prof. Dr. Maka Javakhishvili, Irakli Kvernadze

Contents

WATER LITERACY WITHIN THE SCOPE OF SUSTAINABILITY	1
ALGAE AND AQUACULTURE: A COMPREHENSIVE STUDY OF ECO-FRIENDLY.....	9
ALGLER VE BİYOTEKNOLOJİ	15
ALG BAZLI NANOTEKNOLOJİ.....	21
EFFECT OF GEOGRAPHICAL DIFFERENCES ON PHENOLIC PROFILE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN <i>BETULA PENDULA</i> SAMPLES	28
GATE-TO-GATE WATER FOOTPRINT ASSESSMENT OF AN INTEGRATED EDIBLE OIL PRODUCTION FACILITY	29
MEVSİMSELLİK-BİTKİ-RENK İLİŞKİSİ: TEKİRDAĞ’IN MEVSİMSEL RENK KARAKTERİ.....	43
PEYZAJDA RENK ARAŞTIRMALARINA YÖNELİK BİLİMSEL EĞİLİMLER: SCOPUS TABANLI BİR DEĞERLENDİRME	59
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BIOPHILIC URBAN APPROACH THROUGH THE CITIES OF SINGAPORE AND BERLIN	71
BIOPHILIC DESIGN IN CHILDREN'S PLAYGROUNDS: A COMPARATIVE EVALUATION	78
ALOE VERA’NIN FARMAKOLOJİK ETKİLERİ VE HASTA BAKIMINDA KULLANIMINA GENEL BİR BAKIŞ	87
KRONİK BÖBREK YETMEZLİĞİ KAYNAKLI ÖDEM VE HEMŞİRELİK BAKIMI.....	94
THE ROLE OF NURSING CARE AFTER ACUTE KIDNEY INJURY: DIAGNOSIS, MONITORING, AND RENAL RECOVERY	103
INTEGRATED NURSING CARE IN COPD AND HEART FAILURE: A CARDIOPULMONARY APPROACH	105
SAVAŞTA KADIN ÜREME SAĞLIĞI.....	107
THE EFFICACY OF NbB ₂ -REINFORCED SHIELDING IN CLINICAL SETTINGS	115
ADİPONEKTİN HORMONUNUN SKMEL-30 HÜCRELERİNDE METASTAZ İLE İLİŞKİLİ GEN EKSPRESYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	124
MINIMAL INVASIVE REHABILITATION OF MAXILLARY AND MANDIBULAR ANTERIOR DIASTEMAS WITH DIRECT RESIN COMPOSITE: A CASE REPORT	125
EMNİYET KEMERİ DOKUMASINDA SÜRTÜNME KAYNAKLI ISINMA ve LİF HASARI: KAPLAMA ile İYİLEŞTİRME	126
OTOMOTİV KOLTUK DÖŞEMELERİ İÇİN ZnO/Ag ANTİBAKTERİYEL ve KOKU GİDERİCİ BİTİMLERİN ETKİNLİĞİ VE DAYANIMI	131
KAPALI ORTAM HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRMESİ VE HAVALANDIRMA PERFORMANSI: CFD TABANLI HAVA AKIŞI ANALİZİ VE HAVADAN BULAŞAN ENFEKSİYON RİSKİ MODELLEMESİ.....	136
MEYVE VE SEBZE TEMELLİ GIDALARIN 3B YAZDIRILMASINDA SÜREÇ MÜHENDİSLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	145
DETERMINATION OF LUMINESCENCE PROPERTIES OF RARE EARTH DOPED KCA ₄ (BO ₃) ₃ NANOPHOSPHORS	154
AFYON İLİ DİNAR İLÇESİ İÇME VE KULLANIM SULARINDA RADON ÖLÇÜMLERİ	155
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF LIMONENE CONTAINING NANOCOMPOSITES	156

ROUGH FIELDS BASED ON UPPER APPROXIMATION AND MAXIMAL ROUGH IDEALS	169
TÜRKİYE’DE İYİ TARIM UYGULAMALARI İLE BİTKİSEL ÜRETİM YAPAN TARIM İŞLETMELERİNİN EKONOMİK SONUÇLARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	178
TÜRKİYE’DE KOYUN, KEÇİ VE MANDA SÜTÜ VE ÜRÜNLERİNE YÖNELİK TÜKETİCİ TERCİHLERİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	188
THE IMPORTANCE OF CORN (Zea mays) AND ALFALFA (Medicago sativa) SILAGES IN RUMINANT NUTRITION	198
EFFECTIVENESS OF NURSE-IMPLEMENTED NON-PHARMACOLOGICAL PAIN RELIEF DURING LABOR IN IRANIAN MATERNITY WARDS	208
IRANIAN NURSES' ROLES IN EARLY DETECTION AND MANAGEMENT OF HYPERTENSIVE DISORDERS IN PREGNANCY	209
NURSE-DRIVEN COMMUNITY HEALTH WORKER MODELS FOR MATERNAL ANEMIA SCREENING IN RURAL INDIAN VILLAGES	210
INDIAN NURSES' TRAINING PROTOCOLS FOR BREASTFEEDING SUPPORT AND LACTATION CONSULTATION IN POSTPARTUM CARE	211
GEORGIAN NURSES' IMPLEMENTATION OF MIDWIFERY-LED CARE MODELS FOR LOW-RISK PREGNANCIES	212
CONTINUOUS MIDWIFE SUPPORT DURING LABOR AND ITS IMPACT ON CESAREAN SECTION RATES IN TBILISI HOSPITALS	213
NURSE EDUCATION PROGRAMS ON FETAL MONITORING TECHNIQUES FOR HIGH-RISK PREGNANCIES IN GEORGIA	214
COMPARISON OF WAVELET FUNCTIONS FOR NEAR- AND FAR-FAULT EARTHQUAKE RECORDS.....	215
COMPARATIVE STUDY OF ENERGY DISTRIBUTION OVER FREQUENCY BANDS IN NEAR- AND FAR-FAULT EARTHQUAKES	223
2000 ÖNCESİ İNŞA EDİLEN BETONARME BİR YAPININ LİFLİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	230
DEPREME DAYANIKLI KENTSEL PLANLAMA	242
GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK GERİLİM KARARLILIĞI İÇİN YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİNİN ETKİLERİ.....	249
ÇBAG TABANLI RÜZGAR ÇİFTLİĞİNDE GATE KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR (GCSC) KULLANILARAK ALT-SENKRON REZONANS DURUMLARININ İNCELENMESİ	258
TEDARİK ZİNCİRİ RİSK ANALİTİĞİ: ENERJİ SEKTÖRÜNDE ÇOK BOYUTLU BİR UYGULAMA	266
VERİ YÖNETİŞİMİ VE UYGULAMALARI: KAVRAMSAL ÇERÇEVEDEN ENERJİ SEKTÖRÜNDE DEĞER ÜRETİMİNE.....	277
SEGMENTATION OF SKIN CANCER DISEASE USING DEEP LEARNING METHODS	290
MRI GÖRÜNTÜLERİNDE VİT-S/16 VE RESNET50 İLE BEYİN TÜMÖRÜ TESPİTİ	308
KUERSETİNİN EPİDERMAL BÜYÜME FAKTÖRÜ RESEPTÖRÜNE BAĞLANMA POTANSİYELİNİN MOLEKÜLER YERLEŞTİRME YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI	319
THE TRANSPLANTATION OF BROWN AND WHITE ADIPOSE ORGANOIDS TO CD1 NUDE MICE	337

INVESTIGATION OF THE CHANGES IN CONDUCTIVITY AND SALINITY OF THE $\text{NaH}_2\text{PO}_2\text{--Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{--H}_2\text{O}$ TERNARY SYSTEM WITH TEMPERATURE	338
INVESTIGATION OF CONDUCTIVITY AND SALINITY BEHAVIOR IN AQUEOUS SYSTEMS CONTAINING Na^+ , Zn^{2+} AND Cl^- IONS.....	346
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS	354
DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENEEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS	355
QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES	356
GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS	357
ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES.....	358
NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING.....	359
THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS	360
BIODEGRADABLE POLYMERS FROM RENEWABLE ROMANIAN AGRICULTURAL WASTES	361
ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING.....	362
NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT	363
TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS	364
NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS..	365
TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES	366
MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA.....	367
ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS	368
IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS.....	369
AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS	370
VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE	371
SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS	372
WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES..	373
ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE	374
OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS	375
BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY	376
EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS	377

PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION	378
MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE	379
THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE	380
NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES	381
PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN ARID CLIMATES	382
ONE-HEALTH APPROACHES TO ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE.....	383
GENOMIC SEQUENCING OF ANTIBIOTIC-RESISTANT BACTERIA FROM SINGAPORE AQUACULTURE....	384
ADVANCED WOUND HEALING THERAPIES FOR EXOTIC PETS IN TROPICAL ENVIRONMENTS	385
NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT	386
RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION	387
BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY.....	388
TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS	389
NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE	390
GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES	391
SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL	392
NANOCELLULOSE COMPOSITES FROM GEORGIAN FOREST WASTE FOR PACKAGING APPLICATIONS..	393
AI-ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS FOR SEMICONDUCTOR FABRICATION EQUIPMENT	394
FLEXIBLE WEARABLE ANTENNAS FOR 5G HEALTH MONITORING DEVICES USING GRAPHENE NANOMATERIALS.....	395
LOW-POWER IOT SENSOR NETWORKS FOR PRECISION AGRICULTURE IN ETHIOPIAN HIGHLANDS	396
MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOLAR PANEL FAULT DETECTION IN REMOTE ETHIOPIAN VILLAGES.....	397
WIDEBAND MILLIMETER-WAVE ANTENNA ARRAYS FOR 5G BASE STATIONS IN SAUDI DESERT ENVIRONMENTS	398
GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS.....	399
RF ENERGY HARVESTING CIRCUITS FOR SMART CITY APPLICATIONS IN TBILISI URBAN INFRASTRUCTURE	400
MACHINE VISION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL QUALITY CONTROL IN GEORGIAN MANUFACTURING ..	401
LOW-COST FPGA-BASED SIGNAL PROCESSING FOR GEORGIAN SEISMIC MONITORING NETWORKS...	402
MATERNAL NUTRITIONAL COUNSELING INTERVENTIONS BY NURSES FOR GESTATIONAL DIABETES PREVENTION IN RURAL KAZAKHSTAN	403

NURSE-LED PRENATAL EDUCATION PROGRAMS IMPROVING BIRTH OUTCOMES AMONG ADOLESCENT MOTHERS IN URBAN KAZAKHSTAN	404
ROUGH SET APPROACH AND APPLICATIONS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	405
POTENTIAL USE OF MULBERRY LEAVES AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE IN CORN SILAGE	406

WATER LITERACY WITHIN THE SCOPE OF SUSTAINABILITY

Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Biology, Sivas, Turkey

E-mail: sdirican@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9130-5114

ABSTRACT

Water is a resource that is of vital importance to humans, is non-substitutable and has limited resources. Water is a source of life not only for humans but for all living things. In order to maintain ecological balance and ensure sustainable development, water resources must be used in the most rational and conscious way to meet future needs. Recently, the concepts of sustainability and water literacy have become popular. This study focused on water literacy within the scope of sustainability. A good way to ensure water conservation and sustainability is water literacy. Clean water resources are rapidly decreasing in the world and access to clean water is becoming increasingly difficult. Efforts should be made to ensure the survival of living things and to protect water, savings should be made and awareness of water literacy should be maintained. People should be informed and raised about water literacy. Increasing water literacy is very important within the scope of sustainability. The first step in increasing water literacy is education. For this reason, water literacy lessons should be included in every grade of the education system. In addition to education, radio, television and other social media communication tools should be activated and disseminated in order to increase water literacy and reach wider audiences.

Keywords: Sustainability, Water Literacy, Water Resources.

1. INTRODUCTION

Water is both a source of food and life for living things. Water, which makes up three-quarters of the world, is one of the basic substances necessary for human existence. For this reason, everyone knows that if there is no water, there will be no life. The 97.5 percent of the total amount of water in the world is salt water that is not suitable for use. The remaining 2.5 percent of this rate is fresh water. However, most of this 2.5 percent consists of water that is not suitable for direct use. The 68 percent of this water, which is not suitable for direct use, is in glaciers and 30.1 percent is in groundwater. The amount of fresh water available above ground and atmospheric and suitable for our use is only 0.4 percent (Aytaç, 2023). People who have been interested in water since the beginning of history have tried to recognize the properties of water and make the best use of water. Due to the increase in human population, the need for drinking and potable water has gradually increased, but the limited water resources have further increased the importance of the sustainability of these resources. Sustainability can basically be defined as using resources appropriately and transferring them to future generations and ensuring their continuity. Meteorological changes that occur as a result of global warming and climate change, changes in natural land cover and environmental pollution resulting from human activities increasingly put the sustainability of water resources at risk. These risks are

the gradual decrease and pollution of water resources. Factors at different scales have an impact on the sustainability of water resources. While some factors are effective on a local or regional scale, some are effective on a global scale. In particular, global warming, climate change and human interventions on water resources have a significant impact on the sustainability of water resources. Individuals and societies with positive attitudes are needed to protect such valuable water and ensure its sustainability. In this direction, the concept of water literacy gains importance and comes to the fore. As a matter of fact, studies on water literacy have started to gain momentum recently. We can define water literacy as having knowledge about water-related issues, knowing the importance of water, being able to take action to ensure its sustainability, and being sensitive to water problems and finding solutions. Therefore, it can be stated that water literacy is a responsibility (İşitan, 2023). Everyone needs to take responsibility in order to avoid water-related problems today or in the future.

Individuals who know how daily water is distributed and purified, as well as protecting the quality and safety of water, how much water is used and what exactly it is used for, are called water literate (Sözcü and Türker, 2020). Since the concept of water literacy is a very new subject, the number of studies conducted is limited. The main point emphasized in the limited number of studies is that water literacy education should start from an early age and that its presence at all levels within the education system will be effective in gaining water literacy. However, it is stated that having individuals do practical activities through experiences will be beneficial in gaining permanence in gaining water literacy (Sherchan et al. 2016; Dinç, 2018; Ilgar, 2020; Ursavaş et al. 2020; Özerdinç and Hamaloğlu, 2021, Özdemir, 2023). This study is about water literacy within the scope of sustainability.

2. CONCEPT OF SUSTAINABILITY

Sustainability is the movement of resources existing within an ecosystem in a way that preserves their ability to meet the needs of present and future generations without being consumed (Aydın, 2021). Sustainability has become an important concept of recent times with a wide scope that concerns numerous areas.

Recently, the balanced relationships between living and non-living things in the world are rapidly deteriorating as a result of some negative effects of humans. However, life continues as long as the exchange of matter and energy between the living thing and its environment continues. For this reason, all living things, especially humans, need a suitable environment in which they can live regularly. People have performed various functions that could disrupt the natural balance for their own comfort. They still continue to perform functions that may disrupt the natural balance. As a result, the most important living environments such as air, soil and water have become scarce. The seriousness and importance of the issue has been understood by many developed and developing countries. It has become aware that the ecological balance disrupted by humans can be reestablished and maintained by humans. For a sustainable world that all nations want, ecological balance and biodiversity must be preserved (Kocataş, 2003). For this, a transition must be made from a wasteful society to a sustainable world society.

3. DIMENSION OF SUSTAINABILITY

Sustainability has three dimensions: economic, environmental and social. These three dimensions should be evaluated as a whole that is not independent of each other. Sustainability will not be possible if any of these three dimensions is missing. Because one dimension affects another dimension. Therefore, these dimensions must be managed in a balanced manner to

ensure sustainability. With this balanced management, sustainable development is also achieved.

3.1. Economy Dimension

The economy dimension of sustainability consists of growth, efficiency and stability (Karaboğa, 2022). Thus, limited resources will be used efficiently and profitability will be achieved. As a part of sustainability, the economy envisages the effective cyclical reuse of all wastes generated during production activities and use of resources, in addition to the effective management of existing assets. However, in a sustainable economy, negative externalities caused by production factors during the production phase should also be minimized or zeroed (Kuşat, 2013). It is known that there is an ecological scarcity in economic terms and the only reason for this is humankind's desire to produce and consume excessively.

3.2. Environmental Dimension

The environmental dimension of sustainability includes a healthy environment, rational use of renewable resources and protection of non-renewable resources (Karaboğa, 2022). The main goal of the environmental dimension is to reduce the problems and mitigate the damage that occur during the production activities of institutions and the consumption activities of the society. On the basis of sustainability, it is essential to use environmental natural resources optimally and to transfer these resources to the next generations and ensure their continuity. Because, as a result of direct or indirect interventions of people, the creation of a consumption function faster than the rate at which natural resources can renew themselves causes these resources to disappear in a short time. According to the principle of sustainability, natural integrity and flexibility should be ensured by using natural resources consciously.

3.3. Social Dimension

The social dimension of sustainability includes education, health, employment, security, equality, participation and cultural identities (Karaboğa, 2022). The aim of the social dimension is to increase the welfare level of the society by increasing the quality of the society. Sustainability ensures equal opportunity. The social dimension envisages a society that supports social development, based on fair, transparent and moral systems and practices, in which individuals live who can meet their basic needs such as health, nutrition, shelter and education. Thus, it supports the healthy interaction and coexistence of human communities locally and regionally, at micro and macro scales.

4. SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Development includes future-oriented changes of society. The primary purpose of development is to meet the needs and expectations of humanity. People have the ability to keep development at a sustainable level. While using resources for current needs, we should not take away the ability of future generations to meet their own needs. Sustainable development is defined as meeting today's needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Sustainable development is based on the non-consuming use of natural resources. Utilizing natural resources in the future is like the rings of an interconnected chain. For example, by repurposing a resource after its first use, raw material inputs are reduced and the amount of waste released to nature is also reduced. Therefore, air, soil and water pollution is reduced to a

minimum. Likewise, using solar energy instead of oil and coal energy will reduce the amount of carbon dioxide that creates a greenhouse effect and minimize the amount of sulfur dioxide that causes acid rain. As a result, natural resources will remain healthy. All of these explained approaches are in line with sustainable development (Kocataş, 2003). Such approaches have an accelerating effect on economic development. They orient development towards a sustainable economy, which is crucial from an ecological point of view.

Achieving economic sustainability can be achieved by increasing the production of goods and services. The social dimension of sustainable development is related to the equal use of natural resources by individuals who make up the society and the increase in the standard of living. Since the deterioration in the ecological system causes resource problems, it will not be possible to achieve economic and social sustainability without ensuring the sustainability of the environment. In other words, without protecting natural resources, it is pointless to try to distribute them fairly (Paker, 2018). Therefore, environmental sustainability is a concept that also includes economic and social sustainability.

5. WATER LITERACY

Water is a colorless, tasteless and odorless compound formed by the combination of two hydrogen and one oxygen atoms. Although water literacy is a new definition, it is defined as education and awareness about the effective use of scarce water supply (Ilgar, 2020). Water literacy is the ability of individuals to understand the basic knowledge about water, water resources and all issues involving water, the sustainable use of water, its management, its importance and necessity for life, and the ability to produce solutions and clarify problems encountered (Sözcü and Türker, 2020). For society, water literacy can be defined as understanding the sustainable use and management of water, realizing the need to take action to protect water resources, and acting accordingly. Water literacy is very important in developing countries around the world to increase water sustainability (Greenough et al. 2001; Maniam et al. 2021; Aytaç, 2023).

Otaki et al. (2015) examined water literacy under three types. These are practical water literacy, living water literacy and social water literacy. Safe water is vitally important. It is important to ensure that water is available.

5.1. Practical Water Literacy

Practical water literacy means having the knowledge to ensure that water is in vital quantity and quality. This is necessary for human survival. Practical water literacy covers topics such as knowing how to drink healthy water, understanding the importance of drinking water, and the importance of washing hands.

5.2. Living Literacy

Living water literacy is one's ability to use water wisely. Living water literacy means using sufficient amounts of water needed at home and in social life and having clean water to continue life in a healthy way.

5.3. Social Water Literacy

Social water literacy means being able to act responsibly as a society in the use of water resources. Appropriate decisions can be taken in this direction. It is about working together in

terms of politics, economy, society, technology and environment to find the best solutions to water problems in today's society. Water resources should be evaluated from many aspects.

Practical and live water literacy is necessary for daily life, while social water literacy is not necessary for daily life. Social water literacy encompasses broader considerations about water. These three types of water literacy should be known by all people. However, the priority of these three types of water literacy and concrete actions differ depending on the situation of the settlement. As it moves from private to public, water awareness decreases. Water literacy serves as a catalyst in raising awareness to the target level (Otaki et al. 2015). In this case, water literacy varies depending on the local environment. Therefore, for water sustainability, a water system suitable for the local environment should be established and managed.

Water is one of the most important needs for a healthy continuation of human life and is of vital importance. Because water resources are used in many areas such as drinking, industry and agriculture. Utilization of water, which is so important, must be sustainable in the future as it is now. However, water is a natural resource that is limited on earth. Existing water resources in the world are in danger of depletion. Among the many factors that cause this, reasons such as increasing population, increasing areas of water usage, global warming, climate change and water pollution can be listed. For this reason, water resources are likely to decrease rapidly and create a global problem. This indicates that it is inevitable to experience water scarcity in the future. In this context, in order to ensure the sustainability of water, water resources should be used economically, not polluted, and water-conscious individuals should be raised. The most important way to instill water awareness in people is education (İşıtan, 2022). For this reason, courses on water literacy should be included in the education system. Individuals who successfully complete water literacy courses should set an example for their family, environment and society with their attitudes and behaviors.

The need for water is increasing day by day in parallel with global warming and climate change, along with the increasing population and industrialization. Considering that a significant part of the fresh water resources, which is 2.5 percent, is in glaciers (68 percent), it is predicted that the ever-increasing water requirement will turn into a water crisis in the next 20-25 years. This situation has further increased the importance of water resources management. Consumption habits of people and their awareness of water use play an important role in the inadequacy of water resources. The main goal in water resources management is sustainability. There are important principles that come to the fore in the development and management of water resources. These are criteria such as public benefit, sustainability, equality, pricing that reflects the value of water and ensuring efficient use. A system should be determined that will not cause permanent damage to water resources, will not change the functioning of the hydrological system, but will also take into account the needs of today and the future. When determining this system, its compliance with legal frameworks and its structure suitable for priority use under social and economic conditions should be taken into account. In addition to the sustainability of water resources management, another important factor is that it is effective, that is, the most appropriate use is made (Ünver, 2016).

Improving water literacy and developing an interdisciplinary course or applications to achieve sustainable water use and a water literate society can be considered as major steps. As the first place of education and training of individuals, the consciousness, attitudes and behaviors in the family are very effective. Due to the interdisciplinary nature of water literacy, all courses in educational institutions, starting from the pre-school period, should be put into practice to achieve the goal. In order for students to have sufficient knowledge about water, the concept of water should be included more in courses related to the subject. It is emphasized that individuals need to receive education from an early age, especially starting from the pre-school period, in order to transform this into behavior. Within the interdisciplinary structure of water

literacy, more responsibilities fall on some courses and their teachers in our formal education system. Among these teaching branches, classroom, social studies, science, geography and biology come first. The high level of competence of teachers in water literacy will have a direct impact on achieving a water literate society (Ursavaş and Aytar, 2018; Sözcü and Türker, 2020).

Understanding how the water used in daily life reaches us and is supplied, and understanding how reliable the water used is, the amount of daily expenditure and why we use it, is proof that we are water literate (Otaki et al. 2015). Variables such as individuals' gender, school type, class level, and grade point average are effective in water literacy levels (Yentür et al. 2022). Water is contained in everything produced in the world, from food to clothing and electronic goods. The water use chain, which begins at the stage of cultivation or preparation of raw materials, continues until the product is produced, delivered to the consumer and even used by the consumer. The activities that people engage in have a significant impact on available water. As the number of people in the world increases rapidly, clean water resources are rapidly decreasing. Many factors such as industrialization, excessive consumption habits, urbanization, global warming and climate change can be listed as the reasons for this decrease. One of the most important things that can be done in this regard is to raise individuals with high water awareness. Education is one of the most effective ways to raise awareness (Aytaç, 2023). In order to transform education into attitude and behavior, comparing individuals with situations regarding water awareness at an early age will enable them to question the pressure of human influence on water.

The concept of water literacy has an important place in creating a society conscious about water saving (He, 2018). Water saving can be defined as the efficient and moderate use of existing water resources. Water conservation is not just a policy or method. Effective results cannot be achieved in savings only by setting rules or restrictions. It also covers major social aspects such as consumer behavior. Sources from which information can be obtained about the current state and amount of water can be listed as television, newspapers, brochures, internet, books, scientific articles and magazines. Mass media are increasingly coming to the fore in the formation of human behavior and thoughts regarding water saving (Keskin and Aslanbaş, 2019). Water literacy is very important in building a water-saving society (He, 2018; Sözcü and Türker, 2020). Protecting water resources such as lakes, dams, streams and groundwater depends on reducing the effects of drought and reducing and improving polluting sources. In addition, it depends on the smart and conscious use of water resources at home, in the workplace, in agriculture and industry. Using our water efficiently and correctly is protecting our future. Saving water is the most cost-effective and environmentally friendly way to reduce the demand for water. Using water efficiently saves energy. According to the World Health Organization, at least 25 liters of water are needed per day to meet basic needs. Water should be used without contamination. The biggest negative impact of global warming and climate change will occur on water resources. It should not be forgotten that everyone has somethings to do to protect water resources. Not even a drop of water should be wasted. One of the easiest and most effective ways to reduce the water footprint is to repair leaky taps and toilets and replace water-wasting taps, shower heads and toilet cisterns with energy-saving systems. Efforts should be made to minimize water loss and use in schools, public institutions and places of worship. Water leaks in networks should be monitored and necessary precautions should be taken. Water should not be wasted. In schools, students should be given training on water literacy and low water consumption. Agricultural production takes the most important share in water consumption. Especially in agriculture, wild irrigation should be stopped and pressurized irrigation systems should be used. To irrigate parks, gardens and agricultural areas, morning or evening hours when evaporation is low should be preferred. By being informed about water literacy and water saving activities and understanding the importance of conscious water

consumption, water literate individuals will be able to behave exemplary to their family, environment and society.

6. CONCLUSION

Current global problems require global solutions. Water resources are faced with threats that are more difficult to repair every day. Rational, conscious and sustainable use of water resources can be achieved by integrating all elements together. Determining policies regarding the protection, improvement and use of water resources should be ensured through effective coordination at national and international levels. To ensure the sustainability of water resources, problems that threaten water resources must be identified. In order to determine the necessary strategies accordingly, water resources need to be addressed with an integrated management approach that will include social, economic and environmental factors. It is necessary to implement effective water management policies in countries. It is necessary to focus on education studies on water literacy to control and protect the quality and quantity of surface and groundwater at certain intervals. Moreover, in order to increase water literacy and reach wider audiences, other social media communication tools need to be disseminated and activated, in addition to the prominent radio, television and internet.

REFERENCES

- Aydın, M. 2021. Green Sukuk in Renewable Eenergy Financing: Potential, Opportunities and Advantages. İstanbul University, Institute of Social Sciences, Department of Islamic Economics and Finance, M.Sc. Thesis, İstanbul, Turkey, pp. 130.
- Aytaç, E. 2023. Water Literacy Scale Development Study. Balıkesir University, Institute of Science, Department of Mathematics and Science Education, Biology Education Program, M.Sc. Thesis, Balıkesir, Turkey, pp. 97.
- Dinç, H. 2018. A Requirements on the Effectiveness of Water Literacy Education. *Anatolian Journal of Teacher*, 2(2): 169-176.
- Greenough, G., McGeehin, M., Bernard, S.M., Trtanj, J., Riad, J., Engelberg, D. 2001. The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Health Impacts of Extreme Weather Events in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 109(2): 191-198.
- He, H.S. 2018. Construction of the Index System of Water Literacy and Aplication in a Case Study of Four Chinese Communities. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 21(2): 485-491.
- Ilgar, R. 2020. Approaches on Water Literacy and Water Footprint. *Journal of International Social Research*, 13(73): 294-307.
- Işıtan, İ. 2023. Determining the Water Literacy Levels of High School Students: The Example of Samsun. Ondokuz Mayıs University, Graduate School of Education, Department of Mathematics and Science Education, Biology Education Program, M.Sc. Thesis, Samsun, Turkey, pp. 115.
- Karaboğa, F. 2022. The Three Basic Dimensions of Sustainability: Content Analysis of the Eleventh Development Plan. *Journal of Sustainable Environment*, 2(2): 76-84.
- Keskin, M.E., Aslanbaş, T. 2019. The Impact of Communications Tools on Water Saving. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(4): 819-824.

- Kocataş, A. 2003. Ecology and Environmental Biology. Ege University Faculty of Fisheries Publications No: 51, Seventh Edition, Ege University Press, İzmir, Turkey, pp. 597.
- Kuşat, N. 2013. Green Economy for Green Sustainability: Advantages and Disadvantages - Turkey Review. Journal of Yaşar University, 8(29): 4896-4916.
- Maniam, G., Poh, P.E., Htar, T.T., Poon, W.C., Chuah, L.H. 2021. Water Literacy in the Southeast Asian Context: Are We There Yet? Water, 13(2311): 1-18.
- Otaki, Y., Sakura, O., Otaki, M. 2015. Advocating Water Literacy. Mahasarakham International Journal Of Engineering Technology, 1(1): 36-40.
- Özerdinç, F., Hamalosmanoğlu, M. 2021. Views of Secondary School Students on Water Footprint, Water Awareness and Water Literacy. Anatolian Journal of Teacher, 5(2): 296-315.
- Özdemir, M. 2023. Use of Systems Thinking Skills to Develop Water Literacy of 7th Grade Student Through Esd. Kahramanmaraş Sütçü İmam University Institute of Science Department of Science Education, M.Sc. Thesis, Kahramanmaraş, Turkey, pp. 91.
- Paker, Y. 2018. Environmental Sustainability and Measurement of Environmental Sustainability Performance in Supply Chain. Dokuz Eylül University, Institute of Social Sciences, Department of Production Management and Industrial Management, M.Sc. Thesis, İzmir, Turkey, pp. 116.
- Sherchan, S., Pasha, F., Weinman, B., Nelson, F.L., Sharma, F.C., Therkelsen, J., Drexler, D. 2016. Seven Faculties in Search of a Mission: A Proposed Interdisciplinary Course on Water Literacy. Applied Environmental Education Communication, 15(2): 171-183.
- Sözcü, U., Türker, A. 2020. Development of Water Literacy Scale, Third Sector Social Economic Review, 55(2): 1155-1168.
- Ursavaş, N., Aytar, A. 2018. Analysing Pre-school Students' Water Awareness and Water Literacy Development in a Project Based Study. Journal of Research in Informal Environments, 3(1): 19-45.
- Ursavaş, N., Aytar, A., Alpay, E. 2020. Investigation of Different Curriculums in Terms of Water-Related Learning Outcomes. Anatolian Journal of Teacher, 4(1): 98-113.
- Ünver, A. 2016. The Irrigation Cooperatives in Terms of Water Resources Management and Environmental Sustainability. Namık Kemal University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Agricultural Economics, M.Sc. Thesis, pp. 110.
- Yentür, M.M., Sözcü, U., Aydınöz, D. 2022. Determining the Water Literacy Levels of High School Students: The Case of Istanbul. Ondokuz Mayıs University Journal of Faculty of Education, 41(1): 381-421.

ALGAE AND AQUACULTURE: A COMPREHENSIVE STUDY OF ECO-FRIENDLY

Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Biology, Sivas, Turkey

E-mail: sdirican@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9130-5114

ABSTRACT

In this study, algae and aquaculture are examined. Algae have rich nutritional content and are natural nutrients of aquatic ecosystems. Algae have a very important place in the food chain. Interest in algae cultivation is increasing day by day. For this reason, various algae species are used in aquaculture. Aquaculture is an indispensable element of sufficient and balanced nutrition. Commercial interest in algal biomass obtained from intensive algae cultures and metabolites such as proteins, lipids, carbohydrates, natural pigments, biopolymers and the like extracted from it has been increasing recently. Algae cultivation is environmentally friendly. However, algae are used in aquaculture and fish larvae production. It is mandatory to use suitable algae species for the growth of zooplankton produced in aquaculture under optimum conditions. When there is a break in algae culture, which is the basis of aquaculture, fish production is also at risk. The rich nutrient content in algae provides the nutrients required for the initial development of organisms cultivated in aquaculture. Algae improves the quality of feed and water. Algae are very important in sustainable aquaculture practices. The main goal in algae culture is to achieve both a biological and economic result. For these reasons, it is important to continue advanced studies on algae and aquaculture.

Keywords: Algae, Aquaculture, Bioavailability, Eco-Friendly, Sustainability.

1. INTRODUCTION

The cultivation of plant and animal aquatic organisms for use in food, stock supplementation, hobby, ornamental and scientific research in a controlled or semi-controlled manner within the scope of human factors is called aquaculture (Dirican, 2013). Fish and other aquatic organism species are cultivated in extensive, semi-extensive and intensive conditions by providing species-specific conditions in the marine or terrestrial environment. There are many differences between aquaculture and terrestrial cultivation, the main reason being the existence of many species and separate production characteristics to be used in production. In these conditions, some species require sea water, while others require fresh water. Some species need hot water, while others need cold water. In this context, in order to produce the species, a facility must be planned both in the freshwater environment and in the marine environment. In addition, a system must be planned to adjust the optimum water temperature suitable for the species. In terms of nutritional characteristics, carnivorous fish require animal protein content in order to produce them (İncekaş, 2023).

It is inevitable that the problem of nutrition is one of the important problems with the increasing world population. It has been known for many years that aquaculture has an

important share in nutrition. However, due to reasons such as population growth, overfishing and pollution of aquatic ecosystems, natural fish stocks have decreased and even caused the risk of extinction of some species. It is estimated that even if some measures are taken after this point, natural stocks will never increase to the desired level (Aydın, 2017). Therefore, it is an important issue that the emerging food deficit can only be closed with aquaculture. Accordingly, aquaculture has become an industrial sector in its own right with the developing technology. In this context, aquaculture has increased and been encouraged to increase independently of factors such as overfishing and pollution in natural stocks. Especially the increasing production volume has made the aquaculture sector a very important and strategic industry in the last thirty years. Those who make a living from aquaculture account for approximately 25 percent of the world's population and total aquaculture production accounts for approximately 47 percent of overall production (İncekaş, 2023). As in the rest of the world, aquaculture production in Turkey is increasing significantly every year.

Algae are the organisms that use solar energy most effectively. For this reason, interest in algae production technology is increasing. In this context, the nutritional components of different micro-algae and macro-algae species are being examined. Recently, the search for new algae species to be cultivated has been increasing. Algae have important biological and ecological roles in aquatic ecosystems. Many algae species, especially green algae, contain more protein than higher plants. However, algae contain important substances in terms of both human health and the nutrition of living beings cultivated in aquaculture. Under controlled conditions, algae are intensively produced and used in the nutrition of terrestrial and aquatic organisms, water purification, food industry, powder feed and live feed production due to the pigments, proteins, vitamins and minerals they contain (Duru and Yılmaz, 2013). Algae are considered as an alternative feed ingredient of the future. The biochemical composition of micro and macro-algae varies among species, and it is known that culture conditions also affect these changes. While the average protein and lipid values of macro-algae are 8-15 percent and 1-3 percent on dry matter, the protein and lipid contents of micro-algae can be as high as 30-50 percent and 40 percent, respectively. It is known that feed generally constitutes more than half of the production costs in aquaculture operations. Therefore, instead of high-priced and unsustainable feed raw materials such as fish meal, the use of algae is recommended. Algae are very significant in the cultivation of aquatic animals. They are also commercially cultured as a source of bioactive components such as beta carotene for aquatic animals or for healthy food purposes. Algae are considered as an alternative protein source in the feed of cultured fish because they are rich in protein, essential amino acids, vitamins, minerals, essential fatty acids and carotenoids, which are of great importance for aquatic animals. The largest application area of algae-based feeds is the aquaculture sector, and these feeds are used directly and indirectly during production (Yenmiş, 2019). In this study, algae and aquaculture were examined.

2. ALGAE AND AQUACULTURE

Algae are not only used for feeding purposes in fish and larvae farming, but also as a dietary product in human food, medicine, and cosmetics industry. For this reason, culture studies on algae production have gained momentum. Algae are biological producers that convert carbon dioxide into oxygen through photosynthesis in the world. In addition, they are the primary producers of aquatic ecosystems and are one of the most important ecological groups of aquatic ecosystems. Recently, biotechnological studies on algae have been focused on expanding their use in agriculture, food, feed, medicine and pharmacy, cosmetics, and as dietary products. Algae are one of the oldest life forms. They are thallus organisms that do not have root, stem and organ development. Chlorophyll-a is present in algae as a photosynthetic pigment. The aim

of large-scale algae production studies is to develop products with low cost and desired quality. In large-scale culture systems, it is important to consider issues such as temperature, effective use of light, continuity of culture and constant conditions where biomass does not change over time. Ideal development in algae species is achieved by creating optimum conditions specific to them in culture environments. Accordingly, many algae have their own conditions, *Spirulina* sp. can be produced most efficiently in high pH, temperature and bicarbonate density; *Chlorella* sp. in environments with high nutrient content; *Dunaliella salina* in environments with high salt content (Kargin, 2020). Algae used for commercial production are often used in aquaculture, food, medicine and pharmacy.

Algae constitute the basic step in the food chain. In addition, algae are used in the feeding of live feeds used in fish larvae production in aquaculture and in the green water technique. Algae are the basic nutrients of zooplankton such as rotifers, artemia, daphnia and copepods, which form the live feeds of marine fish larvae. Algae contain nutrients such as essential fatty acids, vitamins, minerals and pigments. These nutrients are carried to zooplankton through the food chain. It is mandatory to use suitable algae species for the zooplankton produced in aquaculture to grow under optimum conditions. When there is a break in algae culture, which is the basis of the aquaculture food chain, fish production will also be at risk. This causes the number of larvae produced in aquaculture and the annual portion fish target to be negatively affected. The types of algae used in aquaculture should not contain toxic compounds, should be easy to culture and should have high nutritional values. Algae are used in marine fish larvae tanks, especially in the cultivation of marine fish species. The green water technique is used especially in the larval stages of fish such as *Sparus aurata*, *Pagrus pagrus*, *Gadus morhua*, *Dentex dentex*, *Solea solea* and *Psetta maxima* (Eryalçın, 2011).

In aquaculture, algae are used as live feed and in feeding zooplankton, in larvae production and in green water technique. Since algae allow fish or other aquatic organisms to feel like they are in a natural environment, they are also used to reduce their stress. In addition, algae play a role in balancing the nitrogen and phosphorus ratio in water and in balancing organic and inorganic compounds. The most preferred algae species in aquaculture are *Chlorella* sp., *Chaetoceros* sp., *Dunaliella* sp., *Isochrysis* sp., *Nannochloropsis* sp., *Pavlova* sp., *Phaeodactylum* sp., *Scenedesmus* sp., *Skeletonema* sp., *Spirulina* sp., *Tetraselmis* sp. and *Thalassiosira* sp. (Vijayaram et al. 2024).

In aquaculture, the amount and type of micro-algae given to the tank environment should be specific and appropriate for the aquatic species being cultured. In order for the live feeds used to have high nutritional value and for their vitality to continue actively, the tanks should contain the appropriate micro-algae species at the desired density. Thus, the larvae are constantly fed with live feeds in the tanks. The size of the live feeds and algae given to the tanks should be suitable for the mouth size of the larvae. If there is no live feed of the appropriate size, the larvae cannot be fed and cannibalism is seen more effectively, decreasing the development and survival rates of the larvae. Especially in larval cultivation, a high amount of micro-algae production is needed. Reducing the production cost is only possible by using non-living micro-algae. In some studies, conducted in recent years, the use of dried micro-algae instead of the green water technique applied in larval cultivation is also being tried. These products, which are ready for continuous use, should have some important features such as high nutritional value, low cost, easy use in cultivation and easy preservation. In addition, when larvae first start feeding on micro-feeds, they take more of these dry micro-algae diets than commercial feeds and can digest them more easily (Eryalçın, 2011).

There are many methods and systems used in the cultivation of algae. Algae may be cultured in open and closed circuit, batch systems, and will provide continuity of semi-continuous and continuous cultures more easily and with less contamination. In short, there are photobioreactor systems that have become more preferred and widespread in recent years for

algae. The use of such systems is preferred in terms of ease of production, being more controlled systems, carrying minimum contamination risk and obtaining continuous cultures more efficiently (Atasayar, 2014). In open environment systems, algae culture is carried out in open pools categorized as circular, inclined, non-mixed and raceway with mixers. In closed environment systems, algae culture is designed as tubular, horizontal-vertical designed, flat plate, fermentor type and internally illuminated photobioreactors (Kargin, 2020). Closed circuit systems are currently used in the larval rearing of many fish species such as *Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*, *Psetta maxima*, *Acipenser güldenstaedti* and *Oreochromis niloticus*. In addition to climatic conditions, closed circuit systems are also preferred in countries where water resources are inadequate or limited in use (Ustaoğlu and Dalkıran, 2005). Many studies are being conducted on intensive algae production with different methods such as open systems, closed systems, and photobioreactor systems. Micro-algae in tanks play a role in catching rotifers, the first live food of larvae, by creating a shadow effect and increasing their appetite. Because larvae are negatively affected by the light penetrating the tanks. Larvae cannot be distributed homogeneously in the tank environment and are inadequately fed (Bengtson et al. 1999).

Green water technique, produced micro-algae are given to the larva tank. Generally, green water is given to the production tanks immediately after the fish larvae hatch. In tanks where approximately 25 or 30 days old postlarvae are located, clean water application is gradually made and micro-algae feeding is stopped. When the cultivation done with clean water application during the larval period is compared with the green water technique, it has been reported that the survival rate in *Sparus aurata* larvae cultivation increases two or five times with the application of the green water application (Papandroulakis et al. 2001).

The green water technique applied to larval tanks positively affects water quality and bacterial load. It has been reported that the green water technique is particularly protective against vibrio disease and increases the enzyme activity of the larval digestive system (Spolaore et al. 2006).

Low survival rate in larval production in marine fish farming is an important problem that prevents the development of aquaculture. In *Sparus aurata* larval farming, green water technique or clean water application without micro-algae is applied. It has been reported that in the clean water application, high mortality rates, failure of larvae to fully form their air sacs, some deformations in the skeleton and slow growth are observed in the early steps of larval farming (Rocha et al. 2008).

While the lipid ratio observed an important increase in the production of *Chaetoceros calcitrans* in open systems, no significant difference was observed in protein and carbohydrate composition compared to the production in closed systems. In *Nannochloropsis oculata*, no significant change was observed in protein and fat compositions in both production systems, while a significant increase was observed in carbohydrate composition in the open system (Banerjee et al. 2011).

It has been reported that *Tetraselmis chuii*, which is produced in photobioreactor systems, performs a more consistent photosynthesis process when exposed to artificial light compared to daylight (Janarthanan et al. 2012).

For the *Oreochromis mossambicus*, it has been determined that the inclusion of algae such as *Sargassum cinereum*, *Padina gymnospora* and *Gracillaria folifera* in the diet exhibits significant antibacterial activity against *Pseudomonas* sp. (Rodrigues et al. 2015).

Mansour et al. (2020) reported that the addition of *Spirulina* sp. to the diet at levels ranging from 5% to 15% increased growth performance and reduced mortality in *Macrobrachium rosenbergii* shrimp species.

Passos et al. (2021) reported that the combination of dietary supplements containing macro-algae such as *Ulva sp.*, *Gracilaria sp.* and *Fucus sp.* caused some positive effects in *Dicentrarchus labrax*.

Goh et al. (2023) reported that *Azolla pinnata* and *Nannochloropsis oculata* supplements improved antioxidant capacity, growth performance, immune system, survival rate and disease resistance in *Oreochromis niloticus*.

Advanced biotechnological studies on algae and aquaculture enable various advances. It is hoped that the results obtained from the studies on algae and aquaculture will solve the nutritional problem in the world in a healthy and balanced way. For these reasons, further studies on algae and aquaculture need to be continued.

3. CONCLUSION

Algae are actively evaluating solar energy. Algae have high and high-quality nutritional content, and can be used directly as food, as well as being used in aquaculture applications. Interest in the cultivation of algae species, which are extremely important bio-ecologically, is increasing day by day. Recently, it has become a necessity to obtain more product from a unit area in order to meet nutritional needs. Aquaculture is an important resource with algae. Many algae species are used in aquaculture. In addition, algae are used as a live feed source in the cultivation of aquatic species that have economic importance. In addition, algae are also used for the production of zooplankton, which is used as food in aquaculture. Thanks to the biotechnological methods applied in aquaculture, it is possible to obtain more product from a unit area. In this context, growth and development rates in aquatic organisms are increased, while disease occurrence is reduced, and healthier, more efficient and desirable products can be obtained. The versatile properties of algae should be utilized more. Thus, both the sustainable development of the sector will be enabled and significant contributions will be made to the economy.

REFERENCES

- Atasayar, B. 2014. Production of Microalgae in Photobioreactor which Use in Aquaculture. Ege University, Institute of Science, Department of Aquaculture, Thesis of MSc, pp. 59.
- Aydın, H. 2017. Aquaculture Potential in Turkey and Aquaculture's Contribution to the Economy. Balkan Journal of Social Sciences, 6(11): 62-67.
- Banerjee S., Hew W.E., Khatoon H., Shariff M., Yusoff F.M. 2011. Growth and Proximate Composition of Tropical Marine *Chaetoceros calcitrans* and *Nannochloropsis oculata* Cultured Outdoors and Under Laboratory Conditions. African Journal of Biotechnology, 10(8): 1375-1383.
- Bengtson, D.A., Lydon, L., Ainlet, J.D. 1999. Green-water Rearing and Delayed Weaning Improve Growth and Survival of Summer Flounder, *Paralichthys dentatus*. North American Journal of Aquaculture, 61: 239-242.
- Dirican, S. 2013. Aquaculture Situation in Sivas. Harran University Faculty of Agriculture Journal, 17(2): 9-14.
- Duru, M.D., Yılmaz, H.K. 2013. Utilization of Microalgae as a Source of Pigment in Fish Feed. Turkish Journal of Scientific Reviews, 6(2): 112-118.
- Eryalçın, K.M. 2011. Effect of Microalgae Cultured in Different Conditions on Fatty Acid Composition of Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L., 1758) Postlarvae. İstanbul University, Institute of Science, Department of Aquaculture, Doctoral Thesis, pp. 129.

- Goh, K.W., Kari, Z.A., Wee, W., Zakaria, N.N.A., Rahman, M.M., Kabir, M.A., Wei, L.S. 2023. Exploring the Roles of Phytobiotics in Relieving the Impacts of *Edwardsiella tarda* Infection on Fish: A Mini-Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10(1149514): 1-12.
- İncekaş, S. 2023. Legal Proposal on Solving the Financial Problem in Aquaculture Sector. Ege University, Institute of Science, Department of Aquaculture, Doctorate Thesis, pp. 102.
- Janarthanan S., Kumaran P., Saifuddin N. 2012. Study on the pH Changes of Microalgae (*Tetraselmis chuii*) Cultivated in Newly Developed Closed Photobioreactor using Natural Sunlight and Artificial Light. *Journal of Energy and Environment*, 5-7.
- Kargın, H. 2020. Microalgae Production Systems Photobioreactors in Aquaculture Use in the World and in Our Country, *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 3(3): 112-130.
- Mansour, E., Mounes, H., Ahmed, K. 2020. Effect of *Azolla pinnata* and *Nannochloropsis oculata* on Growth Performance and Immunoresponse of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its Resistance to Bacterial Infection. *Egyptian Journal for Aquaculture*, 10: 43-62.
- Papandroulakis, N., Divanach, P., Anastasiadis, P., Kentouri, M. 2001. The Pseudo-green Water Technique for Intensive Rearing of Sea Bream (*Sparus aurata*) Larvae, *Aquaculture International*, 9: 205-216.
- Passos, R., Correia, A.P., Pires, D., Pires, P., Ferreira, I., Simoes, M., Carmo, B., Santos, P., Pombo, A., Afonso, C., Baptista, T. 2021. Potential Use of Macroalgae *Gracilaria gracilis* in Diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*): Health Benefits from a Sustainable Source. *Fish Shellfish Immunology*, 119: 105-113.
- Rocha, R.J., Ribeiro, L., Costa, R., Dinis, T.S. 2008. Does the Presence of Microalgae Influence Fish Larvae Prey Capture. *Aquaculture Research*, 39: 362-369.
- Rodrigues, D., Sousa, S., Silva, A., Amorim, M., Pereira, L., Rocha, T.A.P., Gomes, A.M.P., Duarte, A.C., Freitas, A.C. 2015. Impact of Enzyme and Ultrasound-assisted Extraction Methods on Biological Properties of Red, Brown, and Green Seaweeds from the Central West Coast of Portugal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 3177-3188.
- Spolaore, P., Cassan, C.J., Duran, E., Isambert, A. 2006, Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101: 87-96.
- Ustaoglu, S., Dalkiran, G. 2005. Use of Closed Circuit Systems in Aquaculture. *Turkish Journal of Aquatic Life*, 3(4): 454-460.
- Vijayaram, S., Ringo, E., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S.H., Ahani, S., Chou, C.C. 2024. Use of Algae in Aquaculture: A Review. *Fishes*, 9(63): 1-21.
- Yenmiş, A.M. 2019. Determination of Nutritional Leaching of Algae Having the Useable Potential in Aquaculture. İskenderun Technical University, Engineering and Science Institute, Master's Thesis, pp. 63.

ALGLER VE BİYOTEKNOLOJİ ALGAE AND BIOTECHNOLOGY

Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
latifeirkin@gmail.com – 0000-0001-6603-8413

ÖZET

Algler (mikroalgler ve makroalgler), yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip fotosentetik organizmalardır ve biyoteknolojide önemli bir hammadde kaynağı olarak kabul edilir. Hızlı büyümeleri, farklı çevre koşullarına uyum sağlayabilmeleri ve çok sayıda biyolojik olarak aktif bileşik üretmeleri nedeniyle birçok endüstride kullanılmaktadır. Algler; proteinler, polisakkaritler, yağ asitleri, vitaminler, pigmentler ve antioksidanlar bakımından zengindir. Bu bileşikler gıda, ilaç, kozmetik, enerji ve çevre teknolojilerinde değerlendirilmektedir. Ayrıca alg üretimi tarım arazisi gerektirmeden yapılabildiği için sürdürülebilir biyoteknolojik kaynaklar arasında yer alır. Birçok mikroalg türü yüksek protein ve besin içeriği nedeniyle fonksiyonel gıda üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle *Spirulina* ve *Chlorella* besin takviyesi olarak dünya genelinde yaygın şekilde tüketilmektedir. Alglerden elde edilen omega-3 yağ asitleri, doğal renk vericiler ve biyoaktif maddeler gıda endüstrisinde önemli rol oynar. Algler biyoyakıt üretiminde büyük potansiyele sahiptir. Mikroalglerden biyodizel, biyogaz, biyoetanol ve biyohidrojen üretilmektedir. Alglerin hızlı büyümesi ve yüksek yağ içeriği onları sürdürülebilir enerji araştırmalarında önemli bir alternatif haline getirmiştir. Algler; sürdürülebilir üretim potansiyeli, zengin biyokimyasal içerikleri ve çok yönlü kullanım alanları nedeniyle modern biyoteknolojinin en önemli biyolojik kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Gelecekte genetik mühendisliği, sentetik biyoloji ve nanoteknoloji ile birlikte alg biyoteknolojisinin daha da gelişmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroalg, makroalg, ilaç, gıda, biyoyakıt.

1. GİRİŞ

Algler, yüksek fotosentetik verimlilikleri, hızlı büyüme oranları ve zengin biyokimyasal içerikleri nedeniyle biyoteknoloji alanında önemli bir biyolojik kaynak olarak kabul edilmektedir. Mikroalgler ve makroalgler; enerji üretimi, gıda ve nutrasetikaller, farmasötikler, çevre biyoteknolojisi ve endüstriyel biyomalzemeler gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda genetik mühendisliği, nanoteknoloji ve biyoproses mühendisliğindeki gelişmeler alglerin ticari kullanımını hızlandırmıştır.

Algler, tatlı su ve deniz ekosistemlerinde yaşayan fotosentetik organizmalardır. Morfolojik olarak mikroskobik tek hücreli türlerden büyük deniz yosunlarına kadar geniş bir çeşitlilik gösterirler. Günümüzde yaklaşık 70.000'den fazla alg türü tanımlanmıştır ve bu organizmalar küresel oksijen üretiminin önemli bir kısmından sorumludur.

Biyoteknoloji açısından alglerin önemi aşağıdaki özelliklerinden kaynaklanmaktadır:

- Yüksek biyokütle üretimi
- Fotosentetik CO₂ sabitleme kapasitesi

- Lipid, protein ve polisakkarit bakımından zengin içerik
- Çeşitli biyoaktif metabolitler üretme yeteneği

Bu özellikler algleri sürdürülebilir üretim sistemleri için ideal bir biyolojik platform haline getirmektedir [1].

2. ALGLERİN BİYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Algler temel olarak iki ana grupta incelenir:

Mikroalgler

- Tek hücreli veya koloni halinde bulunur.
- Örnekler: *Chlorella*, *Spirulina*, *Dunaliella sp.*
- Endüstriyel üretimde yaygın kullanılır.

Makroalgler

- Çok hücreli deniz yosunları
- Yeşil, kırmızı ve kahverengi algler

Bu organizmalar protein, yağ asidi, pigment ve polisakkarit açısından oldukça zengindir.

Alglerin içerdiği başlıca biyomoleküller:

- Protein (%40-70 bazı türlerde)
- Çoklu doymamış yağ asitleri (EPA, DHA)
- Vitaminler (A, B, C, E)
- Pigmentler (klorofil, fikosiyenin, astaksantin)
- Polisakkaritler (agar, alginat, karragenan)

Alg kaynaklı polisakkaritler özellikle gıda, kozmetik ve farmasötik sektörlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır [2, 3].

3. ALG BİYOTEKNOLOJİSİNİN TEMEL TEKNOLOJİLERİ

3.1.Kültivasyon Sistemleri

Alg üretiminde kullanılan başlıca sistemler:

Açık Sistemler

- Raceway havuzları
- Düşük maliyet
- Kontaminasyon riski yüksek

Kapalı Sistemler

- Fotobiyoreaktörler
- Yüksek verim
- Daha kontrollü üretim

Yeni nesil mimari sistemlerde binaların cephelerine yerleştirilen alg fotobiyoreaktörleri karbon yakalama ve enerji üretimi amacıyla tasarlanmaktadır [4].

4. BİYOTEKNOLOJİDE ALGLERİN KULLANIM ALANLARI

4.1.Enerji ve Biyoyakıt Üretimi

Algler biyoyakıt üretiminde umut verici biyolojik kaynaklar arasında yer alır.

Üretilen yakıt türleri:

- Biyodizel
- Biyoetanol
- Biyogaz
- Hidrojen

Mikroalgler yüksek lipid içeriği sayesinde biyodizel üretiminde önemli bir hammaddedir. Ayrıca atık su ile birlikte yetiştirildiklerinde hem enerji hem çevresel fayda sağlayabilirler.

Avantajları:

- Tarım arazisi gerektirmez
- Hızlı büyür
- Yüksek CO₂ tüketimi [5].

4.2.Gıda ve Nutrasötik Endüstrisi

Algler uzun yıllardır gıda olarak tüketilmektedir. Örnekler:

- *Spirulina*
- *Chlorella*
- Nori

Alg bazlı ürünler:

- Protein takviyeleri
- Fonksiyonel gıdalar
- Vitamin kaynakları
- Omega-3 yağ asitleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu ürünler özellikle sürdürülebilir gıda üretiminde önemli rol oynamaktadır.

4.3.Farmasötik ve Tıbbi Uygulamalar

Algler çok sayıda biyolojik olarak aktif bileşik üretir.

Örnek biyolojik aktiviteler:

- Antikanser
- Antiviral
- Antibakteriyel
- Antioksidan
- Anti-inflamatuar

Deniz alglerinden elde edilen metabolitler diyabet, obezite ve kanser gibi hastalıkların tedavisinde potansiyel ilaç adayları olarak araştırılmaktadır.

Alglerden elde edilen önemli moleküller:

- Fucoidan
- Laminarin
- Carrageenan
- Astaksantin [6].

4.4.Çevre Biyoteknolojisi

Alglerin en önemli kullanım alanlarından biri çevresel uygulamalardır.

4.4.1.Atık Su Arıtımı

Mikroalgler;

- Azot
- Fosfor
- Ağır metal
- Organik kirleticiler gibi maddeleri sudan uzaklaştırabilir.

Bazı çalışmalar %80'den fazla organik kirletici giderimi sağlandığını göstermektedir.

4.4.2.Karbon Yakalama

Algler fotosentez yoluyla büyük miktarda CO₂ bağlayabilir.

Bu nedenle:

- Karbon yakalama teknolojileri
- İklim değişikliği ile mücadele alanlarında kullanılmaktadır [7].

4.4.3.Biyoremediasyon

Algler endüstriyel atıkların temizlenmesinde önemli bir biyolojik araçtır.

4.5.Tarım Biyoteknolojisi

Algler tarımda aşağıdaki şekillerde kullanılır:

- Biyogübre
- Bitki büyüme düzenleyicileri
- Toprak iyileştiriciler
- Hayvan yemi katkıları

Alg bazlı gübreler bitki büyümesini ve verimi artırabilmektedir.

4.6.Kozmetik Endüstrisi

Alg ekstraktları birçok kozmetik ürününde kullanılmaktadır.

Başlıca kullanım alanları:

- Nemlendirici kremler
- Anti-aging ürünleri
- Güneş koruyucular
- Cilt yenileyici ürünler

Algler cilt için faydalı polisakkaritler ve antioksidanlar içerir [8].

5. ALG TABANLI BİYOMALZEMELER

Algler biyomalzeme üretiminde önemli rol oynamaktadır. Ürünler:

- Biyoplastikler
- Hidrojeller
- Doku mühendisliği materyalleri
- Doğal boyalar

Diatom adı verilen alglerin silika yapıları biyomimetik mühendislik çalışmalarında yeni nesil malzemelerin geliştirilmesine ilham vermektedir [9, 10].

6. ENDÜSTRİYEL BİYORAFİNERİ YAKLAŞIMI

Modern biyoteknolojide algler “biyorefinery” modeli içinde değerlendirilmektedir. Biyorafineri, biyokütleyi enerjiye ve diğer faydalı yan ürünlere dönüştüren bir işlem sürecidir. Bu modelde aynı biyokütleden yakıt, gıda, kimyasal ve farmasötik ürün elde edilir. Bu yaklaşım ekonomik sürdürülebilirliği artırmaktadır [11]

7. ALG BİYOTEKNOLOJİSİNDE GÜNCEL ARAŞTIRMA ALANLARI

Genetik mühendisliği ile CRISPR ile alg genom düzenleme, sentetik biyoloji ile yüksek lipid üretimi, yapay zeka destekli kültürasyon ile büyüme optimizasyonu ve karbon nötr üretim sistemleri ile alg-bakteri konsorsiyumları yapılmaktadır. Bu araştırmalar alglerin endüstriyel kullanımını hızla artırmaktadır.

Alg biyoteknolojisinin önündeki başlıca sorunlar:

- Yüksek üretim maliyetleri
- Hasat ve kurutma problemleri
- Ölçek büyütme zorlukları
- Kontaminasyon riski

Bu problemlerin çözümü için biyoreaktör teknolojileri ve genetik mühendisliği çalışmaları devam etmektedir [12].

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelecekte alg biyoteknolojisinin aşağıdaki alanlarda büyük rol oynaması beklenmektedir:

- sürdürülebilir enerji
- karbon yakalama
- kişiselleştirilmiş beslenme
- biyofarmasötikler
- uzay biyoteknolojisi
- biyoplastik üretimi

2020–2025 döneminde alg üretim teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Öne çıkan teknolojiler:

Fotobiyoreaktör tasarımları

- tübüler reaktörler
- flat-panel reaktörler
- bubble column sistemleri

Yeni üretim yaklaşımları

- biyofilm üretimi
- ko-kültür sistemleri
- otomasyon ve sensör teknolojileri [13, 14].

Modern sistemlerde yapay zekâ ve gerçek zamanlı izleme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Algler sürdürülebilir biyoteknoloji ekonomisinin temel organizmalarından biri olarak görülmektedir. Algler, biyoteknoloji alanında çok yönlü ve sürdürülebilir biyolojik kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. Enerji üretimi, gıda güvenliği, çevre koruma ve sağlık alanlarında sundukları çözümler sayesinde alg temelli teknolojilerin önemi giderek artmaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalar alglerin biyorefinery sistemlerinde merkezi rol oynayacağını göstermektedir. Genetik mühendisliği, nanoteknoloji ve yapay zekâ destekli üretim sistemleri ile alg biyoteknolojisinin gelecekte daha da gelişmesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Yu, S., Pyo, S., Lee, J. Microalgae: A multifaceted catalyst for sustainable solutions in renewable energy, food security, and environmental management. *Microbial Cell Factories*, 23, 308, 2024.
2. Li, X. Insights into microalgal biotechnology: Current applications, key challenges, and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 2025.
3. Shitanaka, T., Fujioka, H., Khan, M. . Recent advances in microalgal production, harvesting, prediction, optimization, and control strategies. *Bioresource Technology*, 391, 2024.
4. Chew, K. Microalgae cultivation in photobioreactors: Recent advances and future perspectives. *Biotechnology Advances*, 2021.
5. Torres, E. Microalgae for bioremediation: Advances, challenges, and public perception on genetic engineering. *BMC Plant Biology*, 2024.
6. Karthikeyan, O. Microalgae-bacteria consortia for wastewater remediation. *Journal of Environmental Management*, 2022.
7. Chisti, Y. Constraints to commercialization of algal fuels. *Journal of Biotechnology*, 2020.

8. Al-Hammadi, M., Güngörmüşler, M. New insights into *Chlorella vulgaris* applications. Biotechnology and Bioengineering, 2024.
9. Barkia, I., Saari, N., Manning, S. Microalgae for high-value products. Marine Drugs, 2021.
10. Bleakley, S., & Hayes, M. Algal proteins: Extraction and applications. Journal of Applied Phycology, 2022.
11. Pangestuti, R., Kim, K. Bioactive compounds from marine algae for pharmaceutical applications. Marine Drugs, 2021.
12. Zeller, M. Algae-based bioplastics and biomaterials. Algal Research, 2021.
13. Wang, B. Algal carbon capture technologies. Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, 2023.
14. Jagadevan, S. Genetic engineering for improved microalgal productivity. Biotechnology Advances, 2022.

ALG BAZLI NANOTEKNOLOJİ **ALG-BASED NANOTECHNOLOGY**

Doç. Dr. LATİFE CEYDA İRKİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
latifeirkin@gmail.com – 0000-0001-6603-8413

ÖZET

Alg tabanlı nanoteknoloji, mikroalg ve makroalglerden elde edilen biyomoleküllerin kullanılarak nanomalzemelerin sentezlenmesi ve uygulanmasını kapsayan yenilikçi bir araştırma alanıdır. Algler; polisakkaritler, proteinler, lipitler, pigmentler ve fenolik bileşikler gibi biyolojik olarak aktif maddeler içerir. Bu bileşenler, çevre dostu yöntemlerle nanopartikül üretiminde doğal indirgeme ve stabilizasyon ajanları olarak kullanılabilir. Bu yaklaşım, kimyasal sentez yöntemlerine kıyasla daha sürdürülebilir ve düşük toksisiteye sahip bir alternatif sunar. Algler kullanılarak özellikle gümüş, altın, çinko oksit ve titanyum dioksit gibi metal ve metal oksit nanopartiküller üretilmektedir. Bu nanopartiküller; tıp, ilaç taşıma sistemleri, kanser tedavisi, antibakteriyel uygulamalar, gıda ambalajı ve çevre temizleme teknolojilerinde önemli potansiyele sahiptir. Alg ekstraktlarındaki biyomoleküller nanopartiküllerin boyutunu, şeklinin kontrolünü ve stabilitesini etkileyerek fonksiyonel özelliklerini geliştirebilir. Sonuç olarak alg tabanlı nanoteknoloji; sürdürülebilir üretim, biyoyumluluk ve geniş uygulama alanları nedeniyle biyoteknoloji, tıp ve çevre bilimleri açısından önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Gelecekte bu teknolojinin endüstriyel ölçekte üretimi ve klinik uygulamaları üzerine yapılacak çalışmaların artması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Makroalg, mikroalg, nanopartikül, biyoteknoloji

1. GİRİŞ

Algler, denizel ve tatlı su ekosistemlerinde yaygın olarak bulunan fotosentetik organizmalardır ve biyolojik olarak aktif bileşikler bakımından oldukça zengindir. Alglerden elde edilen polisakkaritler, proteinler, pigmentler ve lipidler nanoteknolojik uygulamalar için önemli bir biyolojik kaynak oluşturmaktadır. Alg bazlı nanoteknoloji; biyoyumlu nanopartiküllerin sentezi, ilaç taşıma sistemleri, doku mühendisliği, biyosensör geliştirme, kanser tedavisi ve çevresel uygulamalar gibi çok sayıda alanda kullanılmaktadır. Özellikle alginate, carrageenan ve fucoidan gibi alg kökenli biyopolimerler kontrollü salım sistemleri ve biyomedikal materyaller için uygun özellikler göstermektedir. Bu makalede alg bazlı nanoteknolojinin biyokimyasal temelleri, nanopartikül üretim yöntemleri, biyomedikal ve endüstriyel uygulamaları ile gelecekteki araştırma alanları kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

2. ALGLERİN BİYOKİMYASAL YAPISI VE NANOTEKNOLOJİ İÇİN ÖNEMİ

Nanoteknoloji, materyallerin nanometre ölçeğinde tasarlanması, sentezlenmesi ve uygulanmasını kapsayan disiplinler arası bir bilim alanıdır. 1–100 nm boyut aralığındaki nanomalzemeler, yüksek yüzey alanı ve benzersiz fizikokimyasal özellikleri sayesinde biyomedikal ve endüstriyel uygulamalarda önemli avantajlar sağlamaktadır.

Son yıllarda sürdürülebilir ve çevre dostu nanomalzeme üretimine olan ilgi artmıştır. Bu bağlamda biyolojik kaynaklar kullanılarak geliştirilen **yeşil nanoteknoloji yaklaşımları** ön plana çıkmaktadır [1]. Algler, hızlı büyüme kapasiteleri, yüksek biyokütle üretimi ve metabolik çeşitlilikleri sayesinde bu alanda önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Algler iki ana gruba ayrılabilir:

Makroalgler (deniz yosunları)

- Kahverengi algler (Phaeophyceae)
- Kırmızı algler (Rhodophyta)
- Yeşil algler (Chlorophyta)

Mikroalgler

- Tek hücreli fotosentetik organizmalar
- Yüksek metabolik aktivite
-

Algler şu bileşenleri üretir:

- Polisakkaritler
- Proteinler
- Vitaminler
- Mineraller
- Antioksidanlar
- Pigmentler (klorofil, karotenoidler, fikobiliproteinler)

Bu biyomoleküller nanomalzeme üretimi için önemli bir platform sağlar. Alglerden elde edilen biyopolimerler nanoteknolojide çeşitli fonksiyonlar görür.

2.1 Alginate

Alginate kahverengi alglerin hücre duvarında bulunan doğrusal bir polisakkarittir. Yapısı iki monomerden oluşur:

- Mannuronik asit (M)
- Guluronik asit (G)

Bu monomerlerin oranı alginatin fiziksel özelliklerini belirler.

Alginate özellikleri:

- Biyoyumlu
- Biyobozunur
- Jel oluşturabilme
- Düşük toksisite
- Yüksek su tutma kapasitesi

Kalsiyum iyonları ile çapraz bağ oluşturarak hidrojel yapı meydana getirir. Bu özellik ilaç kapsülleme sistemlerinde büyük avantaj sağlar.

2.2 Carrageenan

Kırmızı alglerden elde edilen sülfatlanmış polisakkaritlerdir.

Özellikleri:

- Antiviral
- Antikoagülan
- Antitümör
- Stabilizatör

Nanoteknolojide:

- Nanopartikül stabilizasyonu
- İlaç kapsülleme
- Biyomalzeme üretimi amacıyla kullanılmaktadır.

2.3 Fucoidan

Kahverengi alglerden elde edilen sülfatlanmış bir polisakkarittir.

Özellikle:

- antiinflamatuvar
- antikanser
- immünomodülatör etkiler göstermektedir. Bu nedenle kanser nanoteknolojisinde önemli bir araştırma konusudur [2, 3].

3. ALG BAZLI NANOPARTİKÜL ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Alg kökenli nanopartiküller fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle üretilebilir.

İyonik Jelasyon Yöntemi

En yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

Aşamalar:

- Alginate çözeltisinin hazırlanması
- İlacın çözeltiye eklenmesi
- CaCl_2 çözeltisi ile çapraz bağlanma
- Nanopartikül oluşumu

Avantajları:

- Düşük maliyet
- Toksik solvent gerektirmez
- Biyoyumlu
- Kolay uygulanabilir

Bu yöntem özellikle oral ilaç taşıma sistemlerinde kullanılmaktadır.

Emülsiyon – Solvent Buharlaştırma

Bu yöntem hidrofobik ilaçlar için tercih edilir.

Süreç:

-Polimer organik solventte çözülür.

-Su fazına eklenir.

-Emülsiyon oluşturulur.

-Solvent buharlaştırılır.

Sonuç olarak nano kapsüller elde edilir.

Yeşil Sentez ile Metal Nanopartiküller

Alg ekstraktları metal iyonlarını indirger. Bu süreçte, proteinler, fenolik bileşikler, pigmentler indirgeme ajanı görevi görür.

Üretilebilen nanopartiküller:

- Gümüş nanopartiküller
- Altın nanopartiküller
- Çinko oksit nanopartiküller
- Demir oksit nanopartiküller

Avantajları:

- çevre dostu
- düşük enerji tüketimi
- toksik kimyasal gerektirmemesidir [4].

4. ALG BAZLI NANOTEKNOLOJİNİN BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI

İlaç Taşıma Sistemleri

Nanopartiküller ilaçların vücutta hedefe yönlendirilmesini sağlar.

Alg bazlı nanopartiküllerin avantajları:

- kontrollü salım
- hedefli dağılım
- düşük yan etki
- biyouyumluluk

Bu sistemler şu hastalıklarda kullanılmaktadır:

- kanser
- diyabet
- enfeksiyon hastalıkları
- inflamatuvar hastalıklar

Kanser Tedavisi

Nanoteknoloji kanser tedavisinde devrim yaratmaktadır.

Alg bazlı nanopartiküller:

- tümör mikroçevresine duyarlı olabilir
- pH duyarlı ilaç salımı yapabilir
- fototermal tedavide kullanılabilir

Fucoidan kaplı nanopartiküller tümör hücrelerine seçici bağlanma gösterebilir.

Gen Taşıma Sistemleri

DNA veya RNA'nın hücre içine taşınması zorlu bir süreçtir.

Alg bazlı nanopartiküller:

- genetik materyali korur
- hücre içine girişini kolaylaştırır

- immün yanıtı azaltır

Bu sistemler gen terapisi araştırmalarında kullanılmaktadır.

Doku Mühendisliği

Alginate hidrojel hücre büyümesi için uygun bir ortam sağlar.

Kullanım alanları:

- yapay deri
- kıkırdak üretimi
- kemik dokusu
- yara iyileştirme

Hidrojel yapısı hücre proliferasyonunu destekler [5].

5. GIDA BİLİMİ VE BESLENME ALANINDAKİ UYGULAMALAR

Alg bazlı nanoteknoloji gıda sektöründe hızla gelişmektedir.

Uygulamalar:

Nanoenkapsülasyon

Besin bileşenlerinin korunmasını sağlar.

Örneğin:

- vitaminler
- probiyotikler
- omega-3
- antioksidanlar

Fonksiyonel Gıdalar

Alg nanopartikülleri biyoyararlanımı artırabilir.

Akıllı Ambalaj

Alg bazlı nanomalzemeler:

- antibakteriyel ambalaj
- raf ömrü uzatma
- oksijen bariyeri oluşturabilir [6].

6. ÇEVRESEL UYGULAMALAR

Alg bazlı nanoteknoloji sürdürülebilir çevre teknolojilerinde kullanılmaktadır [7].

Su Arıtma

Alg bazlı nanomalzemeler:

- ağır metal bağlama
- boya giderimi
- toksin adsorpsiyonu sağlayabilir.

Biyosensörler

Alg kökenli biyomalzemeler çevresel kirleticilerin tespitinde kullanılabilir.

Karbon Tutulması

Alg sistemleri atmosferik CO₂ azaltımında rol oynayabilir [8].

7. TOKSİSİTE VE GÜVENLİK

Nanomalzemelerin biyogüvenliği önemli bir araştırma alanıdır.

Alg bazlı nanopartiküller genellikle:

- düşük sitotoksikite
- yüksek biyoyumluluk
- biyobozunurluk göstermektedir.

Ancak uzun dönem etkiler, immün yanıt ve biyobirikim konularında daha fazla araştırma gereklidir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Alg bazlı nanoteknoloji gelecekte şu alanlarda gelişecektir:

- kişiselleştirilmiş nanomedisin
- akıllı ilaç sistemleri
- hedefli kanser tedavileri
- biyosensör teknolojileri
- sürdürülebilir nanomalzemeler
- yapay organ teknolojileri

Sentetik polimerlere alternatif olarak biyopolimerlerin kullanımı artmaktadır. Alg bazlı nanoteknoloji sürdürülebilir biyomalzeme üretimi ve biyomedikal uygulamalar açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Alglerden elde edilen polisakkaritler ve biyomoleküller, biyoyumlu nanopartiküllerin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. İlaç taşıma sistemleri, kanser tedavisi, gıda teknolojisi ve çevre mühendisliği alanlarında yapılan çalışmalar alg temelli nanoteknolojinin gelecekte daha geniş uygulama alanı bulacağını göstermektedir. Ancak klinik uygulamalar için daha fazla araştırma ve standardizasyon gerekmektedir [9, 10].

KAYNAKÇA

1. Lee, Y., Mooney, D. Alginate: Properties and biomedical applications, Progress in Polymer Science, 37(1), 106-126, 2012.
2. Holdt, S.L., Kraan, S. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. Journal of Applied Phycology, 23, 543-597, 2011.
3. Draget, I., Smidsrød, O., Skjåk-Bræk, G. Alginates from algae. Biomacromolecules, 6(3), 1524–1534, 2005.
4. Drori, E., Rahmani, S., Bialik, A. Algae-derived nanoparticles for oral drug delivery systems. Marine Drugs, 22(3), 98, 2024.
5. Rastogi, H., Singh, S., Pathak, M. Alginate-based nanoparticles and their biomedical applications. Carbohydrate Polymers, 275, 118689, 2022.
6. Rajapaksha, W., Nicholas, I., Thoradeniya, T. Novel alginate nanoparticles for micronutrient delivery. International Journal of Biological Macromolecules, 254, 127642, 2024.
7. Khan, I., Shin, J., Kim, D. The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry. Algal Research, 36, 162-175, 2018.

8. Chisti, Y. Biodiesel from microalgae. *Bioresource Technology*, 98(12), 294-306, 2007.
9. Pulz, O., Gross, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Trends in Biotechnology*, 22(12), 623-633. 2004.
10. Patra, J., Das, G., Fraceto, L. Nano based drug delivery systems: Recent developments and future prospects. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 148, 1-22, 2018.

EFFECT OF GEOGRAPHICAL DIFFERENCES ON PHENOLIC PROFILE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN *BETULA PENDULA* SAMPLES

Öğr. Gör. Dr. Gizem Yıldırım Baştemur

Istanbul University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics,
gizemyildirimbastemur@istanbul.edu.tr, 0000-0002-4634-4525

Zeynep Ünsal

Istanbul University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics,
zunsal1234@gmail.com, 0009-0002-7400-8083

ABSTRACT

Betula pendula, naturally distributed in Türkiye and Europe, is an important plant species with widespread use in medicinal and cosmetic fields due to its rich content of phenolic compounds. In this study, the antioxidant properties and phenolic compound profiles of *B. pendula* samples collected from Erzurum and İzmir provinces were evaluated comparatively. Plant samples were divided into two parts, leaves and branches, and extraction was performed using an ultrasonic probe-assisted method. The antioxidant activities of the obtained extracts were determined using total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), FRAP, and DPPH methods. The findings showed that branch samples exhibited higher antioxidant activity compared to leaves in both provinces. In addition, it was determined that Erzurum samples generally yielded higher values than İzmir samples. A highly selective and sensitive HPLC-DAD method was applied and validated for the simultaneous quantitative determination of phenolic compounds. Analyses were performed on catechin, esculetin, caffeic acid, polydatin, rutin, ellagic acid, coumarin, resveratrol, quercetin, and apigenin. Calibration curves showed a linear relationship for all compounds, with correlation coefficients ranging from 0.9990 to 0.9997. Within the sensitivity parameters of the method, the limit of detection (LOD) of the compounds was determined to be between 0.001 and 0.052 µg/mL, and the limit of quantitative determination (LOQ) was between 0.004 and 0.176 µg/mL. As a result of HPLC-DAD analyses, polydatin, rutin, and ellagic acid compounds were detected at the highest concentrations in all extracts. The higher levels of polydatin and ellagic acid in samples originating from Erzurum compared to samples from İzmir were found to be consistent with the high antioxidant capacity values observed in these samples. This indicates that the phenolic compound composition plays a decisive role in antioxidant activity. In conclusion, it was determined that the phenolic compound content and antioxidant capacity of *B. pendula* can vary significantly depending on both geographical origin and the part of the plant examined.

Anahtar Kelimeler: *Betula pendula*, HPLC-DAD, total phenolic compounds, total flavonoid compounds, FRAP, DPPH

GATE-TO-GATE WATER FOOTPRINT ASSESSMENT OF AN INTEGRATED EDIBLE OIL PRODUCTION FACILITY¹

Merve Ömürlü¹

¹Dokuz Eylül University

merve-guler@windowlive.com , 0009-0008-3135-0691

Assoc. Prof. Dr. Ezgi Oktav Akdemir¹

¹Dokuz Eylül University

ezgi.oktav@deu.edu.tr , 0000-0001-9513-3524

Abstract

Growing water stress in semi-arid and Mediterranean regions necessitates improved industrial water management strategies. This study quantifies the gate-to-gate water footprint of an integrated vegetable oil production facility located in Western Türkiye using facility-level operational data and the ISO 14046 framework. Blue water consumption and grey water footprint were calculated based on measured freshwater withdrawals, utility flows, and wastewater quality parameters.

The total annual freshwater withdrawal was 604,794 m³, of which 276,839 m³ was classified as consumptive blue water use and 97,962.5 m³ as grey water footprint, resulting in a total operational water footprint of 374,801.5 m³/year. Steam generation and reverse osmosis (RO) reject streams were identified as dominant contributors to overall water use. RO recovery efficiency was calculated at 50.4%, indicating potential for freshwater intake reduction through improved membrane operation. Process-level water intensities were determined as 406 kg/ton for crushing and 850 kg/ton for refining, reflecting the operational water demand associated with integrated vegetable oil processing activities.

Chloride concentrations in the RO reject stream were identified as the limiting pollutant determining the grey water footprint. An uncertainty analysis based on measurement tolerances and methodological assumptions yielded a combined uncertainty of $\pm 7.8\%$, with evaporative loss assumptions representing the dominant source of variability.

The results demonstrate that utility-driven water losses, rather than core production processes, constitute the primary leverage point for improving water efficiency. Facility-level water footprint assessments supported by transparent uncertainty evaluation provide a robust decision-support tool for reducing industrial water pressure in water-stressed basins.

Keywords:

Water footprint, Blue and grey water, Wastewater characterization, Industrial water management, Edible oil production

¹ Carbon and Water Footprint Analysis in Vegetable Oil Production, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylül University, 2026, has not yet been published.

1. Introduction

Growing pressure on freshwater resources has become a defining challenge for sustainable development, as increasing withdrawals for agriculture, industry, and domestic use coincide with climate-driven variability in water availability (FAO & UN-Water, 2024). In global water governance, water stress is widely used as a core indicator to assess the sustainability of freshwater use and to monitor progress toward Sustainable Development Goal (SDG) Target 6.4. In this context, “Water stress is defined as the ratio of total freshwater withdrawn to the total renewable freshwater resources within a specific region, after considering environmental flow requirements” (FAO & UN-Water, 2024). Recent assessments demonstrate that water stress remains a critical concern in many regions, particularly in semi-arid and Mediterranean climates where withdrawals increasingly approach renewable freshwater limits (Vörösmarty et al., 2010; García-Ruiz et al., 2011). In many regions, increasing water withdrawals for agricultural irrigation and industrial activities intensify local water scarcity by placing additional pressure on already constrained water systems (Wada et al., 2014).

The food processing industry is recognized as a significant industrial water user due to the combined requirements of processing operations, heating and cooling systems, sanitation, and cleaning activities (Ajiero & Campbell, 2018; Ahmad et al., 2020). Within this sector, vegetable oil production represents a particularly relevant case, as edible oil processing involves several integrated stages including oilseed preparation, extraction, and refining processes (Gunstone, 2011). Studies focusing on edible oil processing indicate that wastewater generated during edible oil processing operations is characterized by high organic loads, oil and grease content, and elevated chemical oxygen demand, necessitating effective water and wastewater management strategies (Ahmad et al., 2020). In addition, vegetable oil production facilities also include downstream operations such as product handling, packaging, and storage as part of the overall processing chain (Gunstone, 2011).

To systematically evaluate freshwater use within industrial facilities, the water footprint concept provides a structured framework for quantifying water consumption and potential pollution associated with production processes. Within this framework, the blue water footprint refers to the consumption of surface and groundwater resources, the green water footprint refers to the consumption of rainwater, and the grey water footprint represents the volume of freshwater required to assimilate pollutants in order to meet specific water quality standards (Hoekstra et al., 2011). Water footprint assessment has therefore become an important tool for evaluating water use and identifying potential efficiency improvements in industrial production systems. ISO 14046 further formalizes water footprint assessment within a life-cycle perspective and emphasizes the importance of clearly defined system boundaries to ensure transparency and comparability of results (ISO, 2014). For industrial food processing facilities, a gate-to-gate system boundary allows for a focused assessment of operational water use, enabling the identification of efficiency opportunities without extending the analysis to upstream agricultural stages. Such facility-level assessments are particularly relevant in water-stressed regions, where improvements in industrial water management can directly contribute to local water sustainability outcomes (Jeswani & Azapagic, 2011).

In this study, the water footprint of an integrated vegetable oil production facility producing sunflower and soybean oils was quantified using a gate-to-gate system boundary. The assessment was based on actual on-site water meter data collected from a real industrial facility, encompassing water use associated with mechanical and solvent-based oilseed crushing for crude oil production, refining and packaging operations, cleaning, as well as auxiliary utilities including steam generation, reverse osmosis water treatment, and cooling tower systems. By relying on measured operational data rather than estimated or generic coefficients, the analysis provides a facility-specific representation of industrial water use patterns. This approach enables a robust evaluation of water consumption within the processing stage and supports the identification of targeted water efficiency opportunities at the site level.

2. Material and Method

2.1 Process Description and Water Flow Characterization

The study was conducted in an integrated edible oil production facility located in Western Türkiye, a region characterized by medium-to-high water stress due to a combination of climatic vulnerability and growing water demand. The facility processes both sunflower and soybean seeds and encompasses the full sequence of industrial operations, making it representative of large-scale vegetable oil production systems in the country.

The plant operates mechanical and solvent-based crushing systems to extract crude oil from seeds. The production process begins with seed cleaning, dehulling, flaking, and conditioning, followed by oil extraction via pressing and solvent (hexane) extraction. Oilseed meals—soybean meal and sunflower meal—are produced as co-products and are widely used as high-protein ingredients in livestock feed.

Crude oil undergoes a series of refining stages including degumming, neutralization, bleaching, and deodorization. These steps require process water, steam, chemicals, cooling water, and cleaning systems. The facility also includes essential utility systems:

- Steam generation units, where treated boiler feedwater is converted into process steam,
- Reverse osmosis (RO) water treatment, supplying high-quality water to refining and boiler systems,
- Cooling towers, which provide cooling water for heat exchangers used throughout extraction and refining.

These utility processes represent a significant share of total water consumption due to evaporation losses, blowdown requirements, and reject streams. Wastewater is generated from refining operations, cleaning operations, and cooling tower blowdown, with pollutant loads typical of edible oil processing (COD, BOD₅, oil and grease, TSS). In addition, the RO reject stream is characterized primarily by elevated salinity levels, particularly chloride concentrations, which significantly influence the grey water footprint of the facility. The RO reject stream is hydraulically separated from the main wastewater treatment system and is discharged directly under controlled and permitted conditions in accordance with national environmental discharge regulations.

Water and wastewater flows throughout the facility are monitored via calibrated flowmeters, process logs, and laboratory analyses, enabling accurate quantification of operational water use for water footprint calculation.

2.2. Framework for Water Footprint Assessment

This study follows the water footprint assessment framework defined by ISO 14046 (ISO, 2014). According to ISO 14046, water footprint assessment is defined as the compilation and evaluation of inputs, outputs and the potential environmental impacts related to water used or affected by a product, process or organization. The assessment is conducted from a life cycle perspective and consists of four main phases: goal and scope definition, water footprint inventory analysis, water footprint impact assessment, and interpretation of the results.

In accordance with the defined goal and scope of this study, the analysis focuses on operational water use and water quality-related indicators within a gate-to-gate system boundary. In alignment with the Water Footprint Assessment Manual, water use is characterized through blue and grey water components. Blue water represents consumptive freshwater use, whereas grey water represents the theoretical volume of freshwater required to assimilate pollutant loads to meet water quality standards (Hoekstra et al., 2011). Green water consumption is excluded, as it is not relevant within an industrial gate-to-gate boundary.

Accordingly, the assessment is conducted at the water footprint inventory level, and only two components—blue water consumption and grey water footprint—are quantified following the methodological definitions of the Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra et al., 2011). Impact-based indicators (e.g., water scarcity footprint or water degradation footprint) are not calculated because the objective of the study is limited to quantifying operational water flows within the defined system boundary. This study therefore represents a water footprint inventory analysis rather than a full water footprint impact assessment. Such an approach is commonly applied in industrial water footprint studies where the objective is to quantify direct operational water use and water quality-related flows.

2.3. System Boundary and Goal Definition

The goal of this study is to quantify the operational (gate-to-gate) water footprint of an integrated edible oil production facility in Türkiye that processes sunflower and soybean seeds. The facility performs mechanical and solvent-based crushing, crude oil extraction, refining (degumming, neutralization, bleaching, deodorization), and final packaging operations. Supporting utility systems—steam generation, reverse osmosis (RO) water treatment, and cooling tower operation—are included because they represent significant contributors to total freshwater use.

According to ISO 14046, the goal and scope definition stage requires that the system boundary and the unit processes included in the assessment are clearly defined (ISO, 2014). In accordance with this requirement, upstream agricultural cultivation of oilseeds and downstream distribution processes are excluded. The selected boundary ensures that the analysis focuses solely on direct operational water flows measured at the facility level.

All water inputs considered in this study consist of (1) municipal water supply, (2) groundwater abstraction, and (3) internal recirculated streams where relevant. Wastewater generated from refining, cooling, steam systems, and cleaning processes is also included for grey water calculations.

2.4. Water Footprint Inventory Analysis

Water footprint inventory analysis was conducted following the structure defined in ISO 14046 and the operational definitions of Hoekstra et al. (2011). Inventory compilation included:

- Blue water withdrawals and consumption (m³/year)
- Freshwater used for utilities: boiler feed water, RO make-up, cooling tower make-up
- Process water used in refining stages
- Cleaning and sanitation water use
- Wastewater quantity and pollutant concentrations (COD, BOD₅, TSS, oil & grease, chloride)

Facility-level data were collected from:

- Flowmeters throughout the plant
- Boiler feedwater and steam system logs
- Cooling tower make-up and blowdown measurements
- RO permeate/reject monitoring records
- Laboratory analyses of wastewater

Using first-hand operational measurements rather than secondary databases can improve data accuracy and is generally recommended in water footprint and life cycle assessment studies.

Grey water footprint (GWF) was computed using the critical dilution volume method (Hoekstra et al., 2011), using Eq (1):

$$GWF = \frac{L}{C_{\max} - C_{\text{nat}}} \text{ (volume/time)} \quad (1)$$

where L is the pollutant load (kg/year), $C_{\max}$ is the permissible discharge concentration, and C_{nat} is the natural background concentration.

2.5. Water Footprint Impact Interpretation

The interpretation stage was conducted in accordance with the principles outlined in ISO 14046, ensuring consistency, completeness, and methodological transparency of the assessment. As this study focused on inventory-level analysis, no impact-based characterization indicators were calculated. Instead, contextual interpretation was performed by comparing the facility's operational water use with regional water availability and water scarcity indicators reported in the literature (Hoekstra et al., 2011; Liu et al., 2017). This approach allows the results to be

interpreted within the broader context of regional water resource conditions without performing a full life cycle impact assessment (LCIA).

The interpretation phase was used to evaluate the robustness of the inventory results and to identify potential opportunities for water management improvements within the facility. Specifically, the results were analyzed to identify:

- Major water-consuming processes within the facility
- Significant contributors to grey water generation
- Opportunities for improving water use efficiency
- Utility systems associated with high consumptive losses (e.g., cooling towers, steam systems, and reverse osmosis reject streams)

2.6. Data Quality and Assumptions

Data quality assessment followed ISO 14046 guidance, considering precision, representativeness, completeness, and methodological consistency (ISO, 2014). All water withdrawal, consumption, and wastewater quality data were measured directly at the facility. No allocation to co-products (e.g., soybean meal, sunflower meal) was performed, as the study assesses total facility operations rather than product-specific footprints.

Background concentration values (C_{nat}) for grey water calculation were taken as zero where site-specific natural background data were not available, following standard practice in industrial WF studies (Hoekstra et al., 2011). This assumption represents a conservative estimation approach, as it avoids underestimating the required dilution volume.

3. Results and Discussion

3.1. Blue Water Consumption and Facility Water Balance

The total annual freshwater withdrawal of the facility was 604,794 m³/year, entirely supplied from groundwater abstraction (Table 1). Of this volume, 276,839 m³/year was classified as consumptive blue water use, corresponding to evaporation losses from steam systems, cooling towers, washing operations, and auxiliary utility processes.

In accordance with the Water Footprint Assessment Manual, blue water consumption includes freshwater that is evaporated, incorporated into products, or otherwise not returned to the same catchment (Hoekstra et al., 2011). While steam generation and cooling towers represent direct evaporative losses, washing and cleaning water was classified as consumptive because it is not recovered within the facility boundary and does not return to the original abstraction source. This represents an operational consumption assumption rather than pure physical evaporation.

As shown in Table 1, the facility water balance can be summarized as follows:

- 276,839 m³/year (45.8%) consumed through evaporation and process losses
- 327,955 m³/year (54.2%) discharged from the facility as wastewater

All freshwater used in the facility originates from groundwater abstraction through on-site wells. The equality between total withdrawals and the sum of consumptive use and discharge confirms the closure of the facility water balance and the internal consistency of the dataset.

Table 1. Annual freshwater balance of the facility

Flow Category	Volume (m ³ /year)	Share of Total (%)
Well water withdrawal	604,794	100
Discharged water	327,955	54.2
Consumptive water use (evaporation & process losses)	276,839	45.8

The structural distribution of water flows is illustrated in Figure 1, which presents the facility-level water flow diagram including intake, internal flows, utility distribution, evaporation losses, and discharge streams.

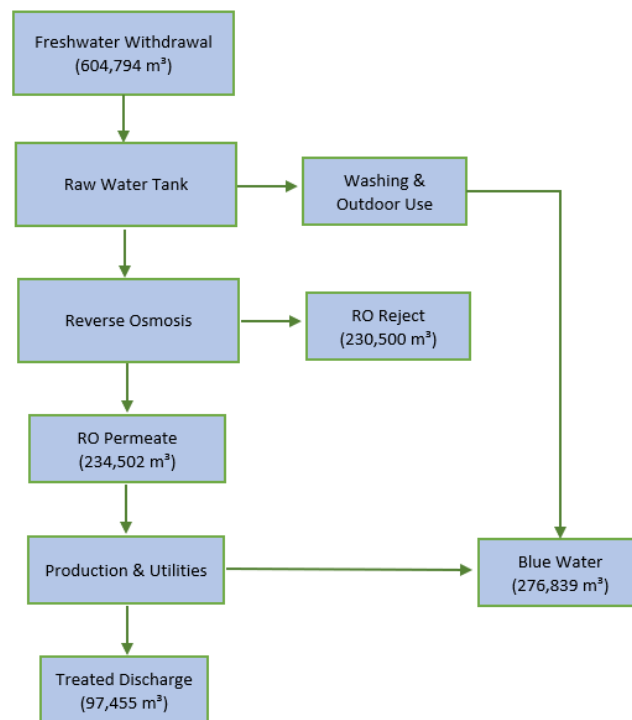


Figure 1. Simplified water flow diagram of the integrated vegetable oil facility

A key structural finding concerns the reverse osmosis (RO) system. RO recovery efficiency was calculated using the volumetric ratio of permeate to RO feed water, consistent with standard membrane performance evaluation practices. Since only 465,002 m³/year of the total freshwater withdrawal was directed to the RO system, recovery was defined as the ratio of

permeate production (234,502 m³/year) to RO feed volume (465,002 m³/year), yielding a recovery efficiency of 50.4%, as shown in Eq. (2).

$$Recovery = \frac{234,502}{465,002} = 50.4\% \quad (2)$$

This recovery ratio is relatively low compared with typical industrial RO systems, where recovery efficiencies commonly range between 50–85%, depending on feedwater quality, membrane configuration, and scaling control strategies (Tayeh, 2024). The observed performance therefore indicates potential opportunities to reduce freshwater withdrawal through improved membrane operation, staged recovery configurations, or concentrate management strategies.

Within consumptive use, steam generation accounted for 132,302 m³/year, representing approximately 48% of total blue water consumption (Table 2). This indicates that the facility's water footprint is largely driven by utility operations, particularly steam production. Similar patterns of water use have been reported in food manufacturing sectors, where utility systems such as steam generation, cleaning operations, and process-support activities constitute major contributors to facility-level water demand (Ajiero & Campbell, 2018). These findings suggest that improving the efficiency of utility systems, particularly steam generation processes, may provide significant opportunities for reducing overall freshwater consumption in industrial food processing facilities.

Table 2. Major contributors to blue water consumption

Process	Volume (m ³ /year)	Share of Blue Water (%)
Steam generation	132,302	47.8
Cooling systems (total)	27,375	9.9
Washing & cleaning	134,000 (approx.)	42.3

3.2. Process-Level Water Intensities

Process-level water intensities were calculated using annual production data. Crushing operations consumed 406 kg of water per ton of crude oil produced, while refining operations required 850 kg of water per ton of refined oil (Table 3).

Table 3. Process-level water intensities

Process	Water Intensity (kg/ton)
Crushing	406

Process	Water Intensity (kg/ton)
Refining	850

The higher water intensity observed in refining operations reflects the greater demand for process utilities, including steam generation, chemical neutralization steps, washing stages, and cleaning operations. These operations require substantial water inputs for both thermal energy generation and process support, leading to higher water consumption compared with mechanical extraction stages.

It should be noted that the calculated values represent facility-level operational water use and do not include upstream stages such as crop cultivation or harvesting. Consequently, the reported intensities reflect the direct water demand associated with industrial oil processing operations within the defined system boundary of the facility. The results are based on operational plant measurements rather than secondary databases, providing a facility-specific representation of water use.

3.3. Grey Water Footprint and Limiting Pollutant

Pollutants originated from two distinct discharge streams: the treated effluent from the wastewater treatment plant (COD and oil & grease) and the RO reject stream (iron, sulfate, and chloride). Grey water dilution volumes were calculated separately for each stream and aggregated to determine the limiting pollutant.

The grey water footprint was calculated as 97,962.5 m³/year. As shown in Table 4, chloride was identified as the limiting pollutant because it generated the highest dilution requirement relative to its permissible discharge threshold.

Table 4. Grey water dilution volumes by pollutant

Pollutant	Discharge Source	Total Dilution Volume (m ³ /year)
COD	Treated effluent	27,185
Oil & grease	Treated effluent	17,509
Iron	RO reject	10,967
Sulfate	RO reject	5,061
Chloride	RO reject	97,963

Although multiple pollutants were present, chloride determined the final grey water value because the grey water footprint is defined as the maximum required dilution volume among considered parameters (Hoekstra et al., 2011). The dominance of chloride is consistent with the

high salinity typically observed in RO reject streams, where dissolved salts accumulate in the concentrate during membrane separation processes. RO concentrate is generally characterized by elevated total dissolved solids (TDS), with sodium and chloride ions typically representing the dominant species (Aqeel et al., 2025).

3.4. Structural Interpretation of Water Use

Combining blue and grey components, the total operational water footprint reached 374,801.5 m³/year.

The structural breakdown of freshwater withdrawals indicates that:

- Utility-related losses (steam, cooling, and RO reject) dominate the facility water profile.
- Direct processing operations represent a smaller fraction of total water demand.
- Pollution-related dilution volumes are secondary compared to consumptive losses.

Overall, the results indicate that utility systems constitute the primary driver of water demand within the facility, highlighting the importance of improving utility efficiency when targeting water reduction strategies in industrial food processing operations. These findings further emphasize that optimization of utility systems represents a key pathway for reducing the industrial water footprint of vegetable oil processing facilities.

3.5. Comparison with Literature and Sectoral Context

The annual blue and grey water volumes, together with process-level intensities, provide a facility-specific representation of water use within an integrated vegetable oil processing system. These results reflect the operational water demand associated with industrial oil processing activities within the defined system boundary of the facility.

Comparisons across studies should be interpreted cautiously because water consumption indicators can vary significantly between facilities depending on production scale, technological configuration, operational practices, and system boundary definitions (Ajero & Campbell, 2017).

However, the relatively low RO recovery efficiency (50.4%) suggests that the primary potential for water savings lies in utility optimization, particularly within membrane systems and associated water management practices, rather than in core processing operations. Recovery performance in RO systems is strongly influenced by feedwater quality and system design parameters (Greenlee et al., 2009).

3.6. Implications for Water-Stressed Regions

The facility is located in Western Türkiye, classified as medium-to-high water stress (FAO & UN-Water, 2024). In such basins, water resources are subject to cumulative pressures from agricultural, industrial, and domestic water use (Vörösmarty et al., 2010; García-Ruiz et al., 2011).

The water balance presented in Figure 1 demonstrates that even facilities operating within typical sectoral performance ranges may exert significant pressure when located in water-scarce regions. Utility optimization strategies—particularly improving RO recovery, enhancing condensate return, and optimizing cooling tower cycles—therefore represent priority actions for reducing basin-level water stress contributions.

3.7. Uncertainty Analysis

Uncertainty in the calculated water footprint results arises from measurement accuracy, data availability, and methodological assumptions applied during the assessment. In accordance with ISO 14046, transparency regarding data quality and assumptions is essential to ensure reliability and interpretability of results (ISO, 2014). Similarly, the Water Footprint Assessment Manual emphasizes the importance of explicitly documenting uncertainty sources in water footprint studies (Hoekstra et al., 2011).

Freshwater Withdrawal Uncertainty

Total annual freshwater withdrawal (604,794 m³/year) was measured using a calibrated inlet water meter. Based on national metering regulations for combined meters, an uncertainty of $\pm 2\%$ was applied (Ölçü ve Ölçü Aletleri Muayene Yönetmeliği, 1994). This corresponds to an absolute uncertainty of $\pm 12,096$ m³/year. Given the direct measurement and regulatory tolerance limits, the uncertainty associated with freshwater intake is considered low.

Blue Water (Consumptive Use) Uncertainty

Blue water consumption (276,839 m³/year) was derived from the facility water balance and represents evaporative losses from steam systems, cooling towers, washing operations, and auxiliary processes. Because direct steam loss monitoring was unavailable, a conservative engineering assumption that 10% of process water is lost through evaporation was applied. A corresponding uncertainty of $\pm 10\%$ was assigned to the blue water component, resulting in an absolute uncertainty of $\pm 27,684$ m³/year.

Assumptions regarding evaporative losses are commonly applied in industrial water assessments when direct monitoring data are not available, provided that they are clearly documented and transparently reported (Hoekstra et al., 2011). The selected value therefore represents a conservative operational estimate intended to approximate evaporative losses under typical steam system operating conditions. This approach ensures methodological transparency while allowing estimation of evaporative losses in the absence of direct monitoring data.

Grey Water Footprint Uncertainty

The grey water footprint (97,962.5 m³/year) was calculated using the limiting pollutant approach, whereby the pollutant requiring the greatest dilution volume determines the grey water result (Hoekstra et al., 2011). Pollutant loads were assigned an uncertainty of $\pm 10\%$, reflecting analytical variability and representativeness limitations of wastewater monitoring.

In addition, due to the absence of routine monthly analyses for the RO reject stream, the maximum measured chloride concentration was applied to months with missing data. This

methodological choice represents a conservative worst-case assumption, resulting in an upper-bound estimate rather than an underestimation of environmental impact. Therefore, this assumption introduces conservative bias rather than statistical uncertainty.

The absolute uncertainty associated with the grey water footprint is $\pm 9,796 \text{ m}^3/\text{year}$.

Combined Uncertainty of the Operational Water Footprint

Assuming independence between blue and grey water components, combined uncertainty was calculated using the root-sum-of-squares (RSS) method (Taylor, 1997) (Eq. 3):

$$u_{total} = \sqrt{u_{blue}^2 + u_{grey}^2} \quad (3)$$

Substituting the calculated uncertainties:

$$u_{total} = \sqrt{(27,684)^2 + (9,796)^2} = 29,366 \frac{\text{m}^3}{\text{year}} \quad (4)$$

Accordingly, the total operational water footprint ($374,801.5 \text{ m}^3/\text{year}$) carries an estimated combined uncertainty of $\pm 7.8\%$. This level of uncertainty reflects the combined effects of operational assumptions and measurement variability inherent in facility-level water assessments.

Overall, the uncertainty analysis indicates that the dominant source of variability arises from assumptions related to evaporative losses in utility systems, rather than from measurements of freshwater withdrawal or wastewater discharge volumes. Improving steam loss monitoring and increasing the frequency of RO reject quality measurements would therefore provide the greatest potential for reducing overall uncertainty in future assessments.

4. Conclusion

This study quantified the gate-to-gate water footprint of an integrated vegetable oil production facility located in Western Türkiye using facility-level operational data. The total operational water footprint was calculated as $374,801.5 \text{ m}^3/\text{year}$, consisting of $276,839 \text{ m}^3/\text{year}$ of blue water consumption and $97,962.5 \text{ m}^3/\text{year}$ of grey water footprint. The facility water balance fully closed, confirming the internal consistency and reliability of the dataset.

The results demonstrate that the facility's water footprint structure is largely utility-driven, with steam generation, cooling systems, and reverse osmosis (RO) reject losses representing the dominant contributors to freshwater consumption. Process-level water intensities (406 kg/ton for crushing and 850 kg/ton for refining) reflect the operational water demand associated with integrated vegetable oil processing activities within the defined facility boundary. The relatively low RO recovery efficiency (50.4%) indicates that substantial water-saving potential lies primarily in utility optimization, particularly through improvements in membrane system operation, condensate recovery, and cooling tower management.

The grey water footprint was mainly driven by chloride concentrations associated with RO reject streams. Although effluent discharge complies with regulatory limits, the required

dilution volume highlights the importance of salinity management in water-stressed basins. Uncertainty analysis further indicated that the dominant source of variability arises from assumptions related to evaporative losses in utility systems, whereas uncertainties associated with freshwater withdrawal and wastewater discharge measurements remain comparatively low.

Given that the facility operates in a region classified as medium-to-high water stress, even industrial facilities performing under typical operational conditions may contribute to cumulative basin-level pressure. The findings therefore emphasize the importance of utility-focused optimization strategies—particularly improvements in RO recovery, steam system efficiency, and cooling tower operation—in reducing industrial water demand.

Overall, the study demonstrates that facility-level water footprint assessments supported by transparent uncertainty analysis can provide a robust decision-support tool for industrial water management. Integrating such assessments into corporate sustainability strategies and operational planning may support more efficient water use and contribute to long-term regional water sustainability.

References

- Ahmad, T., Belwal, T., Li, L., Ramola, S., Aadil, R. M., Abdullah, A., Xu, Y., & Zisheng, L. (2020). Utilization of wastewater from edible oil industry: Turning waste into valuable products. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 21–33.
- Ajiero, I., & Campbell, D. (2018). Benchmarking water use in the UK food and drink sector: Case study of three water-intensive dairy products. *Water Conservation Science and Engineering*, 3, 1–17.
- Aqeel, M., Rehman, H., Rehman, A., & Mubarak, N. (2025). Reverse osmosis (RO) concentrate management: A narrative review. *Insights – Journal of Health and Rehabilitation*, 3(12), 281–291.
- FAO & UN-Water. (2024). *Progress on the level of water stress – Mid-term status of SDG Indicator 6.4.2 and acceleration needs, with special focus on food security – 2024*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cd2179en>
- García-Ruiz, J. M., López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Lasanta-Martínez, T., & Beguería, S. (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, 105(3–4), 121–139.
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348.
- Gunstone, F. D. (2011). *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual*. United Kingdom: TJ International Ltd.

- ISO (International Organization for Standardization). (2014). *ISO 14046:2014 Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*. Brussels.
- Jeswani, H. K., & Azapagic, A. (2011). Water footprint: Methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1288–1299.
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., Hanasaki, N., Wada, Y., Zhang, X., Zheng, C., Alcamo, J., & Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*, 5(6), 545–559.
- Republic of Türkiye. (1994). *Ölçü ve Ölçü Aletleri Muayene Yönetmeliği* [Regulation on the Inspection of Measuring Instruments]. Official Gazette, No. 22000.
- Taylor, J. R. (1997). *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements* (2nd ed.). Sausalito, CA: University Science Books.
- Tayeh, Y. A. (2024). A comprehensive review of reverse osmosis desalination. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100882.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555–561.
- Wada, Y., Wisser, D., & Bierkens, M. F. P. (2014). Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources. *Earth System Dynamics*, 5, 15–40.

MEVSİMSELLİK-BİTKİ-RENK İLİŞKİSİ: TEKİRDAĞ’IN MEVSİMSEL RENK KARAKTERİ

Yaren ŞAHİN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
yarensahin21573@gmail.com-0009-0006-1569-5417

Prof. Dr. Tuğba KİPER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi
tkiper@nku.edu.tr- 0000-0003-3396-5661

ÖZET

Bitkilerin farklı mevsimlerde sergilediği renk özellikleri, peyzajda süreklilik ve uyum sağlayan dinamik bir renk düzeni oluşturmaktadır. Kentsel peyzajda bitki örtüsünün renk nitelikleri, peyzaj görsel kalitesinin değerlendirilmesi, mekan kimliğinin güçlendirilmesi, rekreasyonel kullanım biçiminin belirlenmesi ile algısal ve duygusal kalitenin artırılmasında önemli bir araç olmuştur. Bununla birlikte, literatürün bir bölümünde; bitki peyzajında mevsimsel renk uyumunun nitel ve nicel boyutlarını birlikte ele alan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu ve bu alanda önemli bir araştırma boşluğu bulunduğu belirtilmektedir. Buradan yola çıkılarak, bu bildiride; Tekirdağ kenti örneğinde doğal bitki örtüsünde yer alan baskın ağaç ve çalı türleri özelinde, peyzajda mevsimsellik–bitki–renk ilişkisi incelenmiştir. Bu amaçla; Tekirdağ Kenti özelinde baskın bitki türlerinin mevsimsel renk değişimleriyle birlikte oluşturdukları renk karakterinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma yöntem süreci; mevsimsel sınıflandırmaya yönelik bitki türlerinin belirlenmesi, renk kodlarının elde edilmesi, mevsimsel renk kodları oluşturulması ile sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere dört temel aşamada yürütülmüştür. Bu durum, Tekirdağ kent peyzajında baskın olan ağaç ve çalılar temelinde, mevsimsel renk değişimlerinin nesnel olarak ölçülebilmesini sağlamıştır. Elde edilen bulgular; Tekirdağ örneğinde, ağaç-çalı türleri özelinde oluşturduğu bitki dokusunun mevsimsel döngülerine bağlı olarak peyzajın yıl boyunca dinamik bir renk değişimi sergilediğini göstermektedir. Bu bağlamda, çalışmadan elde edilen sonuçlar; Tekirdağ kent peyzajında baskın ağaç-çalı türlerinin mevsimsel renk değişimlerinin tasarım ve planlama süreçlerine yönelik olarak kullanılabilecek bir bilgi setine dönüştürülmesi ile ilgili literatüre katkı sağlayacak potansiyel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Renk, mevsimsellik, renk kodları, görsel peyzaj, Tekirdağ

1. GİRİŞ

Mevsimsellik, ılıman bölgelerdeki manzaraların tipik bir özelliği olup, arazi örtüsü ve arazi kullanımında görsel değişikliklere neden olarak peyzaj çekiciliğinde değişikliklere yol açabilir (Tveit vd., 2006; Xu vd., 2022). Mevsimsel değişiklikler arasında, bitki örtüsünün mevsimsel

etkisi en belirgin olanıdır. Örneğin; ilkbahar ve yaz boyunca sonbahara kadar bitkiler farklı zamanlarda ve farklı sürelerde çiçek açar. Sonbaharda, yaprak döken ağaçların ve otsu bitkilerin yaprakları renk değiştirir ve kışın yaprak döken ağaçlar yapraklarını döker ve otsu bitkiler kurur (Dramstad vd., 2006; Xu vd., 2022; Zhao vd., 2017). Böylelikle; bitkilerin farklı mevsimlerde sergilediği renk özellikleri, peyzajda süreklilik ve uyum sağlayan dinamik bir renk düzeni oluşturmaktadır (Wang vd., 2018; Wang, 2021). Literatürün bir bölümünde de; bitkilerin renginin, öznel görüşün ilk özelliği (Tong ve Ma, 2020) olduğu ve peyzaj görsel kalitesinin değerlendirilmesinde ve ölçülmesinde önemli bir etkileyici faktör (Ahas vd., 2005) olduğuna vurgu yapılmıştır. Bu durumu destekler nitelikte Wang vd. (2016); bitki örtüsü peyzajının renk güzelliği ve uyumunun, peyzajın kalitesini doğrudan etkilediğini ve yüksek oranda bitki örtüsüne sahip peyzajların daha güçlü bir görsel estetik kaliteye sahip olduğunu belirtmiştir. Mevsimsel renk değişimlerine bağlı olarak gelişen peyzaj çekiciliğindeki bu değişiklikler, mekan kimliğinde ve insanların çevreyle olan deneyimlerinde önemli bir rol oynar (Yang, 2020). Bir peyzajda bitki örtüsünün renk nitelikleri, yalnızca estetik etkiyi değil, aynı zamanda alanın rekreasyonel kullanım biçimini de belirleyen önemli bir unsur olup, mekânsal dikkat ve algı oluşumunda birincil rol üstlenmektedir (Luo vd., 2023). Dolayısıyla, mevsimsellik etkisiyle gelişen bitki renk peyzajı; görsel peyzajların kalitesini artırmada, peyzaj alanının duygusunu düzenlemede ve kentsel peyzajların özelliklerini vurgulamada önemli bir rol oynar (Wang vd., 2016). Bu nedenle mevsimsel değişiklikler, peyzaj tasarımında kullanılan bitki örtüsü için çok önemli olup, bitkilerin renk özellikleri belirlenirken mevsimsel fenolojik değişimler ile kullanıcıların renk algısı ve psikolojik tepkileri birlikte dikkate alınmalıdır (Wang vd., 2018; Zhao vd. 2017). Bununla birlikte; Andreea (2024), çevresel koşullar ile insan algısı arasındaki etkileşimlerin daha iyi anlaşılabilmesi için peyzaj–renk ilişkisine odaklanan derinlemesine çalışmalara ihtiyaç olduğunu; bu tür araştırmaların, peyzaj mimarlarına hem görsel çekiciliği hem de algısal ve duygusal kaliteyi artıran mekânlar tasarlamada önemli katkılar sağlayacağını vurgulamıştır. Bu kapsamda, bitkilerin mevsimsel renk uyumuna ilişkin araştırmalar; çoğunlukla fenolojik süreçler ile mekândaki mevsimsel değişimler üzerine yoğunlaşmaktadır (Cai, 2018). Ancak, bitki peyzajında mevsimsel renk uyumunun nitel ve nicel boyutlarını birlikte ele alan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu ve bu alanda önemli bir araştırma boşluğu bulunduğu belirtilmektedir (Chen vd., 2019). Bununla birlikte önceki çalışmalar genellikle ilkbahar (Zhang vd., 2019), sonbahar (Mu vd., 2022; Zhang vd., 2020; Wang vd., 2019; Ma vd., 2018; Zheng vd., 2018; Ye vd., 2018) ve kış (Li vd., 2020) gibi belirli bir mevsimdeki bitki renk manzaralarına odaklanmışlardır. Aynı zamanda da, literatürün bir bölümünde; peyzaj düzeyindeki bitki görsel renk çalışmalarının çoğunun orman ölçeğinde yapıldığı ve bitki topluluğu ölçeğinde renk manzaraları üzerine daha fazla araştırma yapılması gerektiği (Shen vd., 2022; Xu vd., 2022) üzerinde durulmuştur. İlgili konuya ilişkin güncel literatür incelendiğinde ise, Yang (2020), mevsimsel renk değişimlerine ilişkin görsel deneyimleri inceleyerek, renk analizi ve bilgi görselleştirmeyi bütünleştiren bir çevresel renk analiz yaklaşımı önermiştir. Wang (2021); Harbin kentindeki beş temsili caddeden ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde toplanan bitki örnekleri üzerinden, her türün yaprak, çiçek ve meyvelerine ait renk değerlerine dayalı bir renk–zaman eksenini oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, kentsel peyzajda renk tasarım kalitesinin artırılabilmesi için bitkilerin renk özelliklerine ilişkin nicel bir veri tabanının oluşturulmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Benzer

şekilde, Luo vd. (2023) Çin'in Hunan Eyaleti'ndeki Changsha kentinde yer alan 12 parkta bulunan 85 bitki topluluğunu esas alarak, kentsel parklarda sonbahar dönemine ait bitki renk peyzajını değerlendirmiştir.

Bu bağlamda; bildiri çalışmasında, Tekirdağ Kenti özelinde baskın bitki türlerinin mevsimsel renk değişimleriyle birlikte oluşturdukları renk karakterlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu yönüyle çalışma, Tekirdağ kent peyzajında baskın ağaç-çalı türlerinin mevsimsel renk değişimlerinin tasarım ve planlama süreçlerine yönelik olarak kullanılabilecek bir bilgi setine dönüştürülmesi ile ilgili literatüre katkı sağlayacak potansiyel oluşturmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, Tekirdağ kenti örneğinde doğal bitki örtüsünde yer alan baskın bitki türleri özelinde, peyzajda mevsimsellik-bitki örtüsü-renk ilişkisini ortaya koymak amacıyla Tekirdağ'ın baskın ağaç ve çalı türlerine yönelik mevsimsel renk karakteri belirlenmiştir. Çalışma yöntemi; mevsimsel sınıflandırmaya yönelik bitki türlerinin belirlenmesi, renk kodlarının elde edilmesi, mevsimsel renk kodları oluşturulması ile sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere dört temel aşamada yürütülmüştür. Bu durum, Tekirdağ kent peyzajında baskın olan ağaç ve çalılar temelinde, mevsimsel renk değişimlerinin nesnel olarak ölçülebilmesini sağlamıştır.

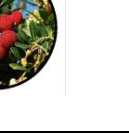
İlk aşamada, Tekirdağ kenti doğal dokusunda baskın olan ve görsel peyzaj karakterini temsil eden ağaç ve çalı türleri (n: 54) belirlenmiştir. Tür seçimi, kentsel açık ve yeşil alanlarda baskın olarak gözlenen bitki kompozisyonları esas alınarak; ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış olmak üzere dört mevsim temelinde sınıflandırılarak (Çizelge 1) belirlenmiştir. Bu kapsamda, her mevsimde çiçeklenen veya yaprakları ve meyveleri ile renk etkisi oluşturan ağaç ve çalı türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yöntemin ikinci aşamasında, belirlenen bitki türlerine ilişkin çiçek, yaprak, meyve ve genel doku renkleri, mevsimsel dönemler dikkate alınarak görsel materyaller üzerinden analiz edilmiştir. Renk verileri, her tür için baskın renkler esas alınarak sayısal renk kodları biçiminde tanımlanmış ve Canva programı ile tür bazlı renk paletleri oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, bitki örtüsünün mevsimsel renk değişiminin nesnel olarak karşılaştırılabilmesine olanak sağlamıştır.

Üçüncü aşamada, mevsimsel renk dokularının nicel olarak karşılaştırılabilmesi amacıyla; bir önceki aşamada oluşturulan tür bazlı renk kodları Canva programı ile mevsimlere göre birleştirilmiştir. Böylelikle, dört mevsime ilişkin olarak ayrı ayrı olmak üzere genel renk dokuları oluşturulmuştur. Bu kapsamda, ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerine ait bütüncül renk kartelaları hazırlanmış ve her mevsimin peyzaj karakterini yansıtan renk kodları oluşturulmuştur.

Son aşamada, elde edilen Tekirdağ kent peyzajına yönelik mevsimsel renk kodları çerçevesinde genel değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 1. Çalışma Kapsamında Mevsimsel Özelliklere Göre Örneklem Olarak Seçilen Bitkiler

İlkbahar dönemi	<i>Prunus dulcis</i> Badem  <i>Cercis siliquastrum</i> Erguvan  <i>Magnolia grandiflora</i> Manolya  <i>Prunus avium</i> Kiraz  <i>Malus floribunda</i> Süs elması  <i>Pyrus caucasica</i> Armut  <i>Aesculus hippocastanum</i> At kestanesi  <i>Forsythia sp.</i> Altınçanak  <i>Chaenomeles japonica</i> Japon ayvası  <i>Syringa vulgaris</i> Leylak  <i>Spiraea cantoniensis</i> Gelin tacı  <i>Viburnum opulus</i> Kartopu  <i>Pyracantha coccinea</i> Ateş diken  <i>Hydrangea sp.</i> Ortanca 
Yaz dönemi	<i>Robinia pseudo-acacia L.</i> Yalancı akasya  <i>Elaeagnus angustifolia L.</i> İğde  <i>Catalpa bignonioides</i> Katalpa  <i>Tilia tomentosa</i> Gümüş ihlamur  <i>Albizia julibrissin</i> Gülbrişim  <i>Lagerstroemia indica</i> Oya  <i>Nerium oleander</i> Zakkum  <i>Abelia grandiflora</i> Abelya  <i>Lavandula angustifolia</i> Lavanta  <i>Rosmarinus officinalis L.</i> Biberiye  <i>Jasminum officinale</i> Yasemin  <i>Buddleja davidii</i> Kelebek çalısı  <i>lagerstroemia indica</i> Oya çalısı  <i>Hibiscus sabdariffa</i> Hibiskus 
Sonbahar Dönemi	<i>Fraxinus angustifolia</i> Dişbudak  <i>Populus alba.</i> Kavak  <i>Betula pendula</i> Sarkık huş  <i>Platanus orientalis</i> Doğu çınarı  <i>Acacia dealbata</i> Gümüş akasya  <i>Acer platanoides</i> Çınar yapraklı akçağaç  <i>Quercus robur</i> Saplı meşe  <i>Ligustrum vulgare</i> Kurtbağrı  <i>Calluna vulgaris</i> Funda çalısı  <i>Pyracantha coccinea</i> Ateş çalısı  <i>Mentha piperita L.</i> Nane  <i>Berberis vulgaris</i> Kadın tuzluğu  <i>Cotinus coggygia</i> Bulut çalısı  <i>Arbutus unedo</i> Kocayemiş çalısı 
Kış Dönemi	<i>Pinus pinea</i> Fıstık çamı  <i>Cupressus sempervirens</i> Mezarlık servisi  <i>Juniperus sabina</i> Sabin ardıcı  <i>Abies nordmanniana</i> Kafkas göknarı  <i>Cedrus libani</i> Lübnan sediri  <i>Platanus occidentalis</i> Batı çınarı  <i>Olea europaea</i> Zeytin  <i>Buxus sp.</i> Şimşir  <i>Euonymus japonica aurea</i> Taflan  <i>Daphne odora</i> Kış Defnesi  <i>Hedera helix</i> Duvar sarmaşığı  <i>Camellia japonica</i> Japon kamelyası  <i>Cotoneaster horizontalis</i> Dağ muşmulası  <i>Mahonia aquifolium</i> Sarıboya çalısı 

3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanında İlkbahar Döneminde Baskın Olan Ağaç-Çalı Türlerine İlişkin Renk Kodlarının Oluşturulması

Tekirdağ kent peyzajında ilkbahar döneminde çiçek renkleri ile baskın olan Badem (*Prunus dulcis*), Erguvan (*Cercis siliquastrum*), Manolya (*Maglonia grandiflora*), Kiraz (*Prunus avium*), Süs elması (*Malus floribunda*), Armut (*Pyrus communis*), At Kestanesi (*Aesculus hippocastanum*), Altınçanak (*Forsythia sp.*), Japon Ayvası (*Chaenomeles japonica*), Leylak (*Syringa vulgaris*), Gelin Tacı (*Spiraea cantoniensis*), Kartopu (*Viburnum opulus*), Ateş Dikeni (*Pyracantha coccinea*) ile Ortanca (*Hydrangea sp.*) türlerine ilişkin oluşturulan renk kodları Görsel 1. de sunulmuştur.



Görsel 1. Tekirdağ'da ilkbaharda çiçek rengi ile baskın olan ağaç-çalı türlerine ilişkin renk kodları

Görsel 1 incelendiğinde; Tekirdağ kent peyzajında ilkbahar mevsiminde çiçeklenen ağaç türlerinin (Badem, Erguvan, Manolya, Kiraz vb.) özellikle açık pembe, mor, yeşil-beyaz ve pastel tonları, çalı türlerinin ise sarı, pembe, mor, mavi ve canlı tonlar oluşturduğu belirlenmiştir. Ağaç ve çalı türlerine yönelik renklerin oluşturduğu bu çeşitlilik; mekânda yenilenme, canlılık ve dinamizm etkisini sağlayarak görsel peyzaj etkisini güçlendirmektedir.

3.2. Çalışma Alanında Yaz Döneminde Baskın Olan Ağaç-Çalı Türlerine İlişkin Renk Kodlarının Oluşturulması

Tekirdağ kent peyzajında yaz döneminde çiçek renkleri ile baskın olan Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia*), İğde (*Eleagnus angustifolia*), Katalpa (*Catalpa bignonioides*), Gümişi İhlamur (*Tilia tomentosa*), Gülibrişim (*Albizia Julibrissin*), Oya Ağacı (*Lagestroemia indica*), Zakkum (*Nerium oleander*), Abelya (*Abelia grandiflora*), Lavanta (*Lavandula angustifolia*), Biberiye (*Rosmarinus officinalis*), Yasemin (*Jasminum officinale*), Kelebek Çalısı (*Buddleja davidii*) ile Hibiskus (Ağaç hatmi) (*Hibiscus saddariffa*) türlerine ilişkin oluşturulan renk kodları Görsel 2. de sunulmuştur

Görsel 2 incelendiğinde; Tekirdağ kent peyzajında yaz mevsiminde çiçeklenen Yalancı Akasya, İğde ve Katalpa türlerinin özellikle pastel yeşil tonlarını oluşturduğu; Gülibrişim, Oya ve Zakkum türlerinin ise özellikle açık pembe ve yeşil tonlarını oluşturduğu saptanmıştır. Abelya, Lavanta, Biberiye, Yasemin, Kelebek Çalısı ve Hibiskus türlerinin ise; mor, pembe ve beyaz tonlarıyla yaz peyzajına vurgu yaptığı görülmüştür.

Yaz dönemine özgü olarak baskın ağaç ve çalı türlerinin sunduğu renk yoğunluğu, yeşil baskın peyzajı destekleyici ve odak noktası oluşturucu bir düzene yönelik bir görsel karakter oluşturduğu saptanmıştır.



Görsel 2. Tekirdağ'da yazın çiçek rengi ile baskın olan ağaç-çalı türlerine ilişkin renk kodları

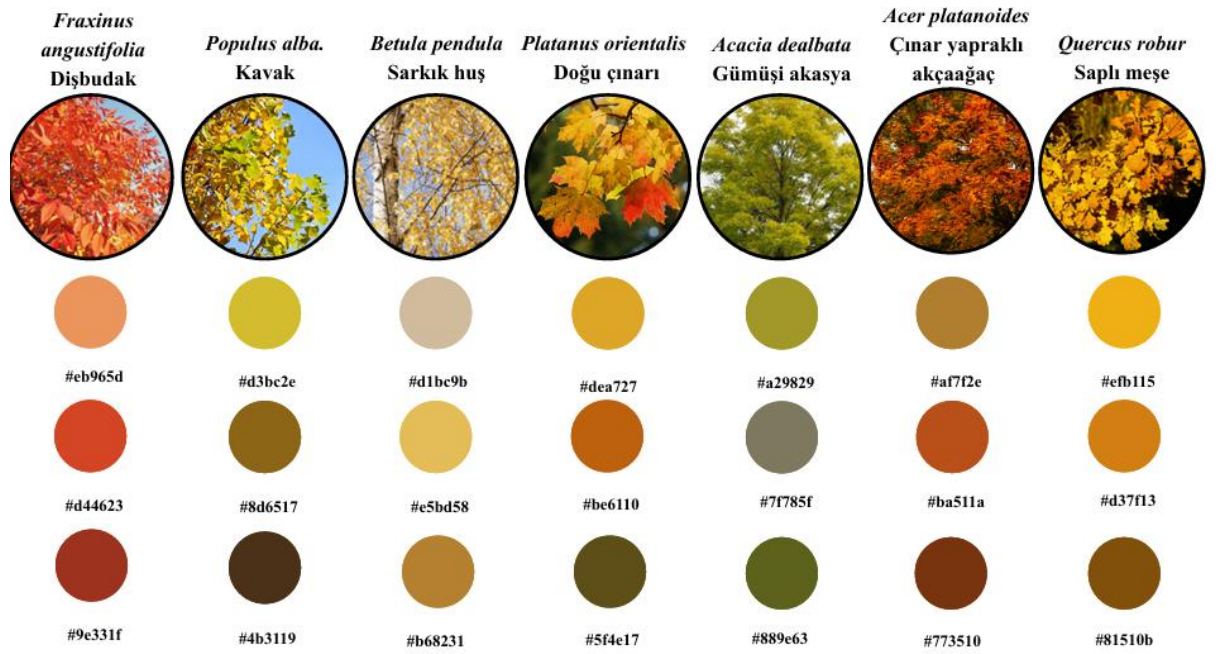
3.3. Çalışma Alanında Sonbahar Döneminde Baskın Olan Ağaç-Çalı Türlerine İlişkin Renk Kodlarının Oluşturulması

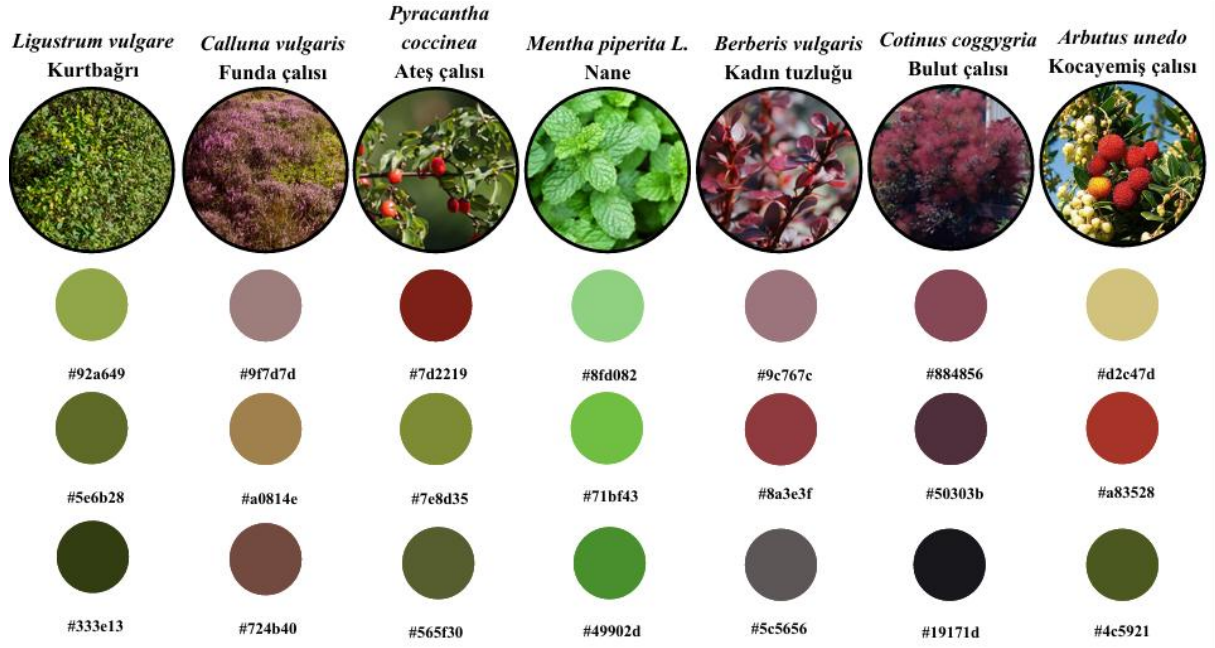
Tekirdağ kent peyzajında sonbahar döneminde yaprak renkleri ile baskın olan Dişbudak (*Fraxinus angustifolia*), Kavak (*Populus alba*), Sarkık Huş (*Betula pendula*), Doğu Çınarı (*Platanus orientalis*), Gümüşi Akasya (*Acacia dealbata*), Gümüşi Akasya (*Acacia dealbata*), Çınar Yapraklı Akçaağaç (*Acer platanoides*), Saplı Meşe (*Quercus robur*), Kurtbağrı (*Ligustrum vulgare*), Funda Çalısı (*Calluna vulgaris*), Ateş Çalısı (*Pyracantha coccinea*), Nane (*Mentha piperita*), Kadın Tuzluğu (*Berberis vulgaris*), Bulut Çalısı (*Cotinus coggygria*) ile Kocayemiş (*Arbutus unedo*) türlerine ilişkin oluşturulan renk kodları Görsel 3. de sunulmuştur

Görsel 3. incelendiğinde; Tekirdağ kent peyzajında sonbahar mevsiminde yaprak renkleri ile baskın olan Dişbudak, Kavak, Sarkık Huş, Doğu Çınarı, Gümüş Akasya, Çınar Yapraklı Akçaağaç ile Saplı Meşe türlerinin özellikle sarı, turuncu, kahverengi ve kırmızı tonlarını oluşturduğu saptanmıştır. Yaprak renklenmesine bağlı olarak çeşitlilik oluşturan oluşan bu renk paleti, mekânda görsel kontrastı ve mevsimsel farkındalığı belirgin bir biçimde artırmaktadır.

Sonbahar çalılarına özgü, Kurtbağrı, Funda Çalısı, Ateş Çalısı, Nane, Kadın Tuzluğu, Bulut Çalısı ile Kocayemiş türleri ise; kırmızı, bordo ve koyu yeşil tonlarıyla kent peyzajına vurgu yaptığı görülmüştür. Bu renkler, özellikle geçiş mevsimlerinde peyzajın görsel sürekliliğini destekleyen tamamlayıcı bir etki oluşturmaktadır.

Tekirdağ kent peyzajında ağaç-çalı türleri özelinde sonbahar dönemine ilişkin belirgin görülen renk çeşitliliği; bu dönemde bitkisel renklenmenin en belirgin ve dinamik biçimde ortaya çıktığını göstermiştir. Bu durum; Luo vd., (2023)'ün çalışma bulguları ile örtüşmektedir.

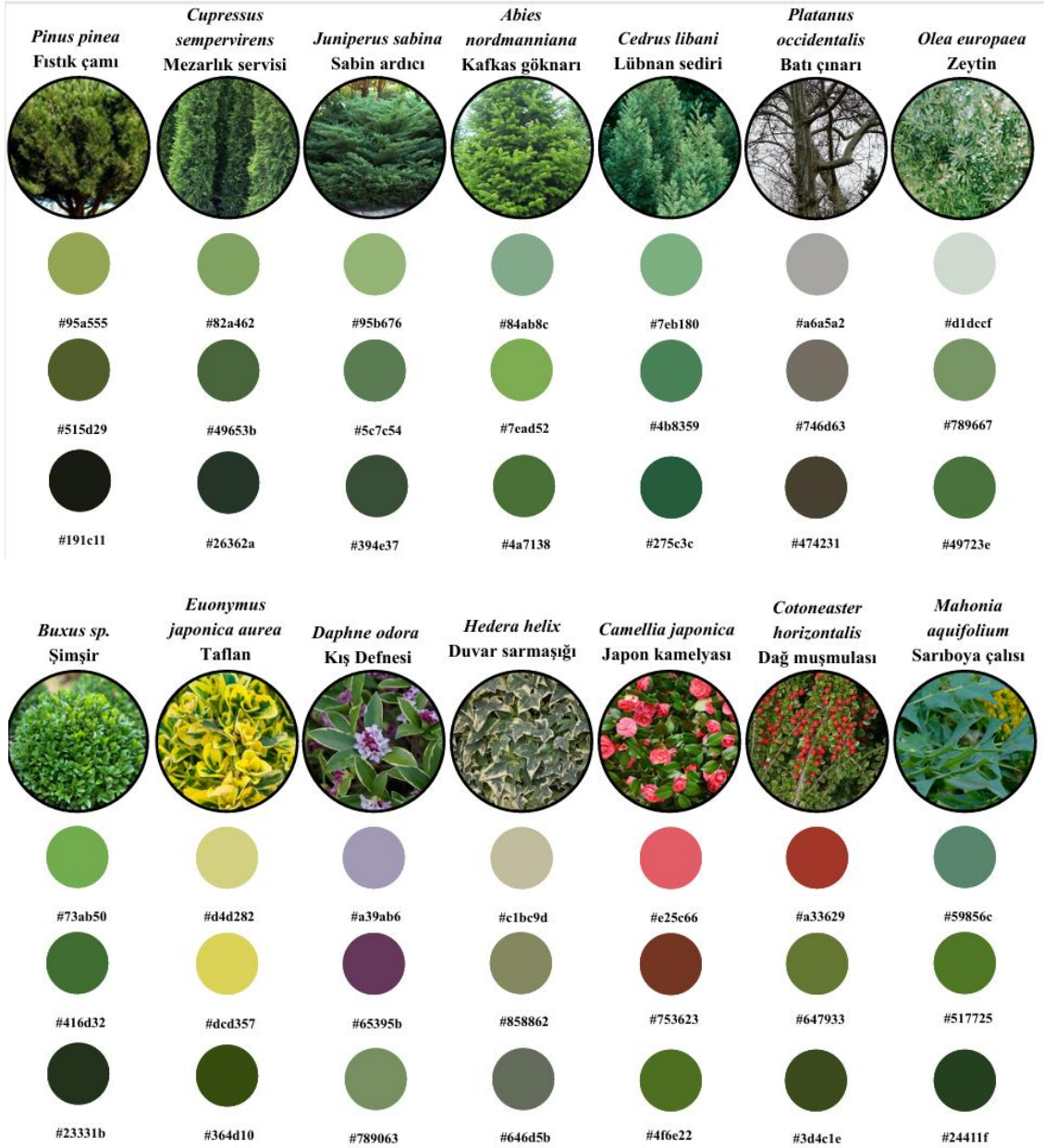




Görsel 3. Tekirdağ’da sonbaharda yaprak-meyve rengi ile baskın olan ağaç-çalı türlerine ilişkin renk kodları

3.4. Çalışma Alanında Kış Döneminde Baskın Olan Ağaç-Çalı Türlerine İlişkin Renk Kodlarının Oluşturulması

Tekirdağ kent peyzajında kış döneminde yaprak renkleri ile baskın olan Fıstık Çamı (*Pinus pinea*), Mezarlık Servisi (*Cupressus sempervirens*), Sabin ardıcı (*Juniperus sabina*), Kafkas Göknaarı (*Abies nordmanniana*), Lübnan Sediri (*Cedrus libani*), Batı Çınarı (*Platanus occidentalis*), Zeytin (*Olea europea*), Şimşir (*Buxus sp.*), Taflan (*Euonymus japonica aurea*), Defne (*Daphne odora*), Duvar Sarmaşığı (*Hedera helix*), Kamelya (*Camellia japonica*), Dağ Muşmulası (*Cotoneaster horizontalis*) ile Mahonya (Sarıboya Çalısı) (*Mahonia aquifolium*) türlerine ilişkin oluşturulan renk kodları Görsel 4. de sunulmuştur



Görsel 4. Tekirdağ'da kışın yaprak-çiçek-meyve rengi ile baskın olan ağaç-çalı türlerine ilişkin renk kodları

Görsel 4. incelendiğinde; Tekirdağ kent peyzajında yaz mevsiminde yaprak renkleri ile baskın olan Fıstık Çamı, Mezarlık Servisi, Sabin Ardıcı, Kafkas Köknarı, Lübnan Sediri, Batı Çınarı ile Zeytin türlerinin yeşil, gri ve mat tonları oluşturduğu saptanmıştır. Kış mevsiminde baskın herdem yeşil ağaçların oluşturduğu bu durum, peyzajda durağan ancak bütüncül bir renk dokusu sunmaktadır. Çiçeklenmenin sınırlı olduğu bu dönemde, yaprak ve doku rengi mekânsal sürekliliğin temel belirleyicisi hâline gelmektedir.

Kış çalıları, koyu yeşil, gri renk etkilerinin yanı sıra; sınırlı da olsa sarı-yeşil, kırmızı-kahve ile mor renk vurgularıyla peyzajın monotonluğunu azaltmaktadır. Bu durum, kış peyzajında görsel sürekliliğin çalı katmanı aracılığıyla desteklenebileceğini göstermektedir (Görsel 4).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Tekirdağ örneğinde baskın ağaç ve çalı türleri temelinde peyzajda mevsimsellik–bitki örtüsü–renk ilişkisi kapsamında mevsimsel renk karakteri belirlenmiştir. Bulgular kapsamda belirlenen ağaç-çalı türlerinin çiçek, yaprak ve meyve renkleri mevsimsel olarak görsel materyaller üzerinden analiz edilmiş, baskın renkler sayısal renk kodlarıyla görsellerle birlikte tanımlanmıştır. Sonrasında; tür bazlı renk kodları mevsimler doğrultusunda birleştirilerek her bir mevsim için peyzaj karakterini yansıtan bütüncül ve nicel renk kompozisyonları oluşturulmuştur. Bu kapsamda; ilkbahar ve yaz mevsimi için oluşturulan renk kodları toplu olarak Çizelge 2. de, sonbahar ve kış mevsimi için oluşturulan renk kodları ise Çizelge 3. de sunulmuştur.

Çizelge 2. incelendiğinde; ilkbahar renk dokusunda, yeşil-sarı-kırmızı-mor-mavi gibi farklı renklere yönelik açık, parlak ve pastel tonların baskınlığının ön plana çıktığı saptanmıştır. Bu durum, ilkbahar döneminde güçlü bir görsel estetik kalitenin varlığını göstermiştir. Yaz mevsimi renk dokusunda, yeşil tonların baskınlığının yanı sıra; sarı-mor-pembe-kırmızı renklerin harmonisi ile görsel sürekliliğin desteklenerek devam ettiği saptanmıştır.

Çizelge 3. incelendiğinde ise; sonbahar renk dokusunda, sarı-kahve-kırmızı renklerine yönelik sıcak tonların baskınlığı ile peyzajda güçlü bir mevsimsel karakter oluşturduğu görülmüştür. Bu durum, sonbaharda kentsel peyzajda dinamik bir renk düzeni oluştuğunu göstermiştir. Kış mevsiminde ise; renk çeşitliliğinin azalmasıyla birlikte herdem yeşil bitkilere yönelik olarak, koyu ve nötr tonların baskınlığı dikkat çekmiştir. Bu durum, peyzajda bitki seçiminin kış döneminde renk sürekliliğini sağlama açısından önem taşıdığını göstermektedir.

Çizelge 2. Tekirdağ'da Ağaç ve Çalıların Oluşturduğu İlkbahar ve Yaz Renk Dokusu

İ L K B A H A R							
	#d7ecd7	#aa5e7e	#8a9a42	#e9e7ec	#cda8c1	#c9cbbd	#c3beac
							
	#a69092	#cf97f4	#545a1b	#cf97b4	#972d45	#648024	#949867
							
	#7c832f	#595d34	#2c2d10	#595d34	#8f6d6e	#4e4f2e	#829934
Y A Z							
	#e6b919	#aa5e7e	#af91bc	#dd81b7	#dadbd1	#e16870	#b0b8cd
							
	#a18424	#cf97f4	#5f425e	#a43d63	#8e9673	#b31e2c	#424f81
							
	#574614	#595d34	#89a786	#729167	#6a8721	#631c18	#636442
Y A Z							
	#ced2cb	#09a085	#c8c7cf	#e7efc0	#dc7a8a	#da7993	#dd59a3
							
	#587c40	#948a3e	#999695	#b6cf33	#ba8d74	#7b181f	#91333d
							
	#325026	#646e54	#3a5e1a	#989927	#6b8456	#7b7552	#7e813d
Y A Z							
	#ded2da	#9a81da	#c4c3c4	#d9ded3	#c69acf	#e26b9e	#d92221
							
	#ba8188	#6d4ca2	#8b9a58	#52772d	#865396	#afb284	#99af41
							
	#8443d6	#30244d	#4f5d2c	#1e3f13	#889e63	#4e5923	#303212

Çizelge 3. Tekirdağ'da Ağaç ve Çalıların Oluşturduğu Sonbahar ve Kış Renk Dokusu

S O N B A H A R							
	#eb965d	#d3bc2e	#d1bc9b	#dea727	#a29829	#a1712e	#efb115
							
	#d44623	#8d6517	#e5bd58	#be6110	#7f785f	#ba511a	#d37f13
							
	#9e331f	#4b3119	#b68231	#5f4e17	#889e63	#773510	#81510b
K I Ş							
	#92a649	#9f7d7d	#7d2219	#8fd082	#9c767c	#884856	#d2c47c
							
	#5e6b28	#a0814e	#7e8d35	#71bf43	#8a3e3f	#50303b	#a8352d
							
	#333e13	#724b40	#565f30	#49902d	#5c5656	#19171d	#4c5921
K I Ş							
	#95a555	#82a462	#95b676	#84ab8e	#7cb180	#a6a5a2	#d1dce1
							
	#515d29	#49653b	#5c7c54	#7ead52	#4b8359	#746d63	#789667
							
	#191e11	#26362a	#394e37	#4a7138	#275c3c	#474231	#49723e
K I Ş							
	#73ab50	#d4d282	#a39ab6	#c1bc9d	#e25c66	#a33629	#59856e
							
	#416d32	#dcd357	#65395b	#858862	#753623	#647933	#51772d
							
	#23331b	#364d10	#789063	#646d5b	#4f6e22	#3d4c1e	#24411f

Sonuç olarak; Tekirdağ örneğinde hazırlanan görseller, ağaç ve çalı özelinde bitkilerin fenolojik döngülerine bağlı olarak yıl boyunca; peyzajda süreklilik ve uyum sağlayan dinamik bir renk düzeni sergilendiğini göstermiştir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde; çiçeklenen ve meyve veren ağaç ve çalı türleri, peyzajda canlılık ve görsel çekiciliği ön plana çıkaran bir renk dokusu oluşturmaktadır. Sonbahar mevsiminde yaprak renklenmesine bağlı olarak oluşan sıcak renk tonları, güçlü bir görsel etki yaratmaktadır. Kış mevsiminde ise herdem yeşil türlerin oluşturduğu koyu yeşil, gri ve mat renkler, mekânsal bütünlüğün ve sürekliliğin korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu bütüncül ve birbirini tamamlayan renk dizilimi, peyzajın yalnızca statik bir görsel unsur olmadığını; ağaç ve çalı türlerinin oluşturduğu mevsimsel değişimlerle birlikte algısal, estetik ve deneyimsel anlamda süreklilik oluşturan bir denge yaratmıştır. Elde edilen mevsimsel renk kompozisyonlarının, Tekirdağ kenti özelinde peyzaj tasarımı, bitki seçimi ve görsel kalite değerlendirme süreçlerinde karar destek aracı olarak kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Ahas, R., Aasa, A., Silm, S., Roosaare, J. (2005). Seasonal indicators and seasons of Estonian landscapes. *Landsc. Res.*, 30, 173–191. <https://doi.org/10.1080/01426390500044333>.
- [2] Andreea, M. (2024). The palette of colors in the autumn landscape of Romanescu Park. *Annals of the University of Craiova*, 29 (65), 254-258. <https://doi.org/10.52846/bihpt.V29i65.150>.
- [3] Cai, Q. (2018). Development of plant landscapes in Chinese-Russian border cities of Heilongjiang Province. *J Heilongjiang Voc Inst Ecol Eng.*, 31(4), 13–4+108.
- [4] Chen, L.F., Li, X.Y., Chen, C.H., Meng, Y. (2019). Investigation and NCS quantification of plant color in autumn in the campus of five universities in Changchun City. *J Northwest For Univ.*, 34(4), 246–272.
- [5] Dramstad, W.E., Tveit, M.S., Fjellstad, W.J., Fry, G.L. (2006). Relationships between Visual Landscape Preferences and Map-based Indicators of Landscape Structure. *Landscape and Urban Planning*. 78(4): 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.12.006>.
- [6] Li, C.L., Shen, S.G., Ding, L. (2020). Evaluation of the winter landscape of the plant community of urban park green spaces based on the scenic beauty estimation method in Yangzhou, China. *PLoS ONE*, 15, e0239849. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239849>.
- [7] Luo, Y., He, J., Long, Y., Xu, L., Zhang, L., Tang, Z., Li, C., Xiong, X. (2023). The relationship between the color landscape characteristics of autumn plant communities and public aesthetics in urban parks in changsha, China. *Sustainability*, 15(4), 3119. <https://doi.org/10.3390/su15043119>.
- [8] Ma, B.Q., Xu, C.Y., Cui, Y. (2018). Effects of color composition in badaling forests on autumn landscape quality. *J. Northwest For. Univ.*, 33, 258–264.
- [9] Mu, Y., Lin, W., Diao, X., Zhang, Z., Wang, J., Lu, Z., Guo, W., Wang, Y., Hu, C., Zhao, C. (2022). Implementation of the visual aesthetic quality of slope forest autumn color

change into the configuration of tree species. *Sci. Rep.*, 12, 1034. <https://doi.org/s41598-021-04317-1>.

- [10] Shen, S., Yao, Y., Li, L. (2022). Quantitative study on landscape colors of plant communities in urban parks based on natural color system and M-S theory in Nanjing, China. *Color Res Appl.* 47, 152–163. <https://doi.org/10.1002/col.22713>.
- [11] Tong, Z., Ma, Y. (2020). Elements of plant color matching in intelligent landscape design. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Intelligent Design (ICID)*, 11–13 December 2020, 214–218. Xi'an, China.
- [12] Tveit, M.S., Ode, Å., Fry, G. (2006). Key concepts in a framework for analysing visual landscape character. *Landsc. Res.*, 31, 229–255. <https://doi.org/10.1080/01426390600783269>
- [13] Wang, D. (2021). Seasonal color matching method of ornamental plants in urban landscape construction. *Open Geosciences*, 13(1), 594–605. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0261>/html.
- [14] Wang, D. (2021). Seasonal color matching method of ornamental plants in urban landscape construction. *Open Geosciences*, 13(1), 594–605. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0261>/html.
- [15] Wang, JS., Whitehead, SN., Yeung, KK. (2018). Study on the expression of plant color in the nightscape lighting of garden. *China Illum Eng J.*, 29(6), 108–12.
- [16] Wang, R., Zhao, J., Liu, Z. (2016). Consensus in visual preferences: the effects of aesthetic quality and landscape types. *Urban For. Urban Green.*, 20, 210–217, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.005>
- [17] Wang, X.G., Wang, Z.R., He, X.Y., Lian, F.L., Hong, Z., Wang, J.F., Du, Y.X., Tang, L. (2019). The beauty degree of forest facies and its optimal color composition pattern in the southwest Zhejiang Province in autumn. *J. Nanjing For. Univ.*, 43, 118–126. <https://doi.org/10.5555/20193153080>.
- [18] Xu, W., Jiang, B., Zhao, J. (2022). Effects of seasonality on visual aesthetic preference. *Landscape Research*, 47(3), 388–399. <https://doi.org/10.1080/01426397.2022.2039110>.
- [19] Yang, M. (2020). Investigating seasonal color change in the environment by color analysis and information visualization. *Color Res Appl.*, 45(3), 503–511. <https://doi.org/10.1002/col.22484>.
- [20] Ye, X.Q., Wang, L., Guan, H.W., Zhou, S., Yu, R., Shen, X.D. (2018). Landscape Construction and Analysis of Autumn Color Plants in Northwest China—A Case Study of the Autumn Garden in Yinchuan Botanical Garden. *Chin. Landsc. Archit.*, 1, 94–97.
- [21] Zhang, X.J., Chen, J., Li, Q.Y., Liu, J.C., Tao, J.P. (2020). Color quantification and evaluation of landscape aesthetic quality for autumn landscape forest based on visual characteristics in subalpine region of western Sichuan, China. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 31, 45–54.
- [22] Zhang, Y.K., Wang, X.R., Yang, T., Zhou, L., Bai, C. (2019). Change characteristics of new leaf color attributes of common garden plants in Guiyang city in spring. *J. Northwest For. Univ.*, 34, 208–213.

- [23] Zhao, J., Xu, W., Li, R. (2017). Visual preference of trees: The effects of tree attributes and seasons. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25,19-25. [https://doi.org/ 10.1016/j.ufug.2017.04.015](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.015).
- [24] Zheng, Y., Zhang, W.Q., Wu, Q.N., Chen, Z.R., Wang, Y.C., Ding, G.C., Chen, S.P., Fu, W.C., Zhu, Z.P., Huang, S.P., (2016). The color quantization of the fall scenic forest in Jinsi Canyon National Forest Park in Shaanxi Province. *J. Northwest For. Univ.* 31, 275–280.

PEYZAJDA RENK ARAŞTIRMALARINA YÖNELİK BİLİMSEL EĞİLİMLER: SCOPUS TABANLI BİR DEĞERLENDİRME

Prof. Dr. Tuğba KİPER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi

tkiper@nku.edu.tr- 0000-0003-3396-5661

Yaren ŞAHİN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

yarensahin21573@gmail.com-0009-0006-1569-5417

ÖZET

Peyzajda renk; görsel kalite, estetik algı, mekânsal kimlik, ekolojik işlev ve kullanıcı deneyimi gibi çok boyutlu süreçleri etkileyen temel bir tasarım bileşenidir. Bununla birlikte, ilgili alandaki bilimsel üretimin bütüncül olarak değerlendirildiği niceliksel analizler sınırlıdır. Bu çerçevede bildiride; peyzajda renk odaklı bilimsel çalışmalara ilişkin eğilimlerin Scopus veri tabanı üzerinden niceliksel analizler aracılığıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. İlgili amaç doğrultusunda çalışmada; peyzajda renk araştırmalarının zamansal yayın eğilimlerinin, öne çıkan temel bilim alanlarının, en fazla katkı sağlayan ülke, kurum ve yazarların, literatürde öne çıkan anahtar kelimelerin ve etkin dergilerin nicel göstergelerle analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bununla birlikte çalışmada; en çok atıf alan yazar, dergi ve yıl özelinde tematik eğilimlere yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma bulguları, konunun literatürde hızlanan bir büyüme eğilimi sergilediğini; mühendislik, sosyal ve çevre bilimleri ekseninde öne çıkarak, ağırlıklı olarak tasarım ve planlama odaklı peyzaj çalışmaları kapsamında ele alındığını göstermiştir. Bu çerçevede elde edilen sonuçlar, peyzaj mimarlığında renk araştırmalarının güncel gelişim düzeyinin anlaşılmasına, potansiyel araştırma boşluklarının belirlenmesine ve ilgili literatür için bilimsel bir referans çerçevesi oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Peyzaj, renk, görsel kalite, scopus

1. GİRİŞ

Renk, peyzajlarda görsel kalitenin temel bir bileşeni olarak, mekânsal karakteristik özelliklerin ayırt edilmesi ve vurgulanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Ma vd., 2020). Özellikle de; bir yer duygusunun oluşturulmasında, güvenliğin sağlanmasında ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde etkili bir araç olmuştur. Bu bağlamda renk; kentsel peyzajda estetik ve sembolik değer kazandıran, mekânsal bütünlüğü güçlendirerek yapıların ve kentlerin genel mekânsal kalitesini artıran temel bir tasarım aracıdır (Jaglarz, 2023). Bununla birlikte Naderi Gorzaldini (2016), renk bileşeninin; kentsel alanların kimliğini, hissini ve okunabilirliğini korumada etkin olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda renk, bireylerin kentsel özellikleri ve

topluluk ortamlarının algılamasında kullanılan güçlü bir görsel sembol olup, algısal değerlendirmeleri, duygusal tepkileri ve mekânsal tercihleri etkileyen önemli bir uyarıcıdır (He vd., 2023). Bu durumu destekler nitelikte, Kaufman ve Lohr (2004)'un çalışmalarında; renk oranı ve dağılımının, insanların manzara algılarını ve tercihlerini etkilediği ile algısal farklılıklar oluşturarak psikolojik ve fizyolojik tepkilere neden olabildiği belirtilmektedir. Bu duruma yönelik olarak Zhang vd. (2023)'nin çalışmasında; peyzajda mavi çiçeklerin rahatlama ve stres azaltmada etkili bir rol oynadığı, turuncu, sarı ve kırmızı çiçeklerin ise odak etkisi yaratarak pozitif bir etki sağladığına atıf yapılmıştır (Zhang vd., 2023). Bu durumu destekler nitelikte; Yin vd. (2024)'nin çalışmalarında; üniversite kampüsü özelinde mevsimsel renklemenin ve duygusal bütünleşmenin, psikolojik ve fizyolojik iyilik hâlini artırmadaki etkisi incelenerek, renkli sonbahar manzaralarının iyilik hali üzerinde önemli etkileri olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte; Çin'in Yi Jie Qu kentindeki 8 adet kent parkı örneğinde yapılan Zhang vd. (2024)'nin çalışmalarında ise, 330 yaşlı bireyin renk manzaralarına yönelik duygusal tepkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, yaşlıların özellikle sonbahar manzaralarında, kış mevsimine kıyasla daha güçlü ve olumlu duygusal tepkiler sergilediğini ortaya koymuştur.

Peyzajda renk konusuna ilişkin algısal çalışmaların yanı sıra; literatürün bir bölümünde; ekoloji bağlamında renklerin güneş radyasyonunu emme ve yansıtma özelliğine atfen; bina cephelerinin renginin dış duvarların yüzey sıcaklığı, çevredeki hava sıcaklığı ve iç mekanların gün ışığı alması üzerinde önemli düzeyde etkisi bulunduğu vurgu yapılmıştır (Pasek, 2014; Pasek ve Bosova, 2014; Santamouris vd., 2017). Bu duruma paralel, Jia vd. (2022)'nin çalışmalarında; doğal güzellik ile bitki örtüsü renk indeksi ve ekolojik bütünlük arasındaki ilişki araştırılmıştır. Hu vd. (2023) ise; rengin estetik unsuruna vurgu yaparak, mekânsal tasarımda güçlü bir araç olduğuna dikkat çekmiştir. Bu duruma ilişkin ise, Jaglarz (2023)'in çalışmasında; gözlemcileri etkileyen bir unsur olarak kentsel alanın kompozisyonunda rengin rolü incelenmiştir. Dolayısıyla peyzajda renk konusu; estetik algı, mekânsal kimlik, ekolojik işlev ve kullanıcı deneyimi gibi çok boyutlu süreçleri etkileyen temel bir tasarım bileşeni olarak ele alınmıştır. Bu durumun paralelinde mevcut araştırmalar çoğunlukla renk–algı ilişkisini deneysel veya tasarım odaklı incelemekte olup, esas olarak belirli mekânsal unsurların görsel kalitesi ve görsel etkilerini tartışmaya odaklanmıştır (Zhang vd., 2024). İlgili çalışmalarda özellikle renk; park alanlarındaki bitki örtüsü (Chen vd., 2022; Ma vd., 2020; Xu vd., 2023), orman dokusu (Hegetschweiler vd., 2022; Jia vd., 2022) ile makro kentsel cephe (Hoyla vd., 2017; Hu vd., 2023) ölçeğinde ele alınmıştır.

Yukarıdaki açıklamalar peyzajda renk konusunun farklı yaklaşımlar çerçevesinde ele alındığını göstermiştir. Bu bağlamda bildiride; peyzajda renk odaklı bilimsel çalışmalara ilişkin eğilimlerin Scopus veri tabanı üzerinden gerçekleştirilen niceliksel analizler aracılığıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. İlgili amaç doğrultusunda bu bildiride; peyzajda renk araştırmalarının zamansal yayın eğilimlerinin, öne çıkan temel bilim alanlarının, en fazla katkı sağlayan ülke, kurum ve yazarların, literatürde öne çıkan anahtar kelimelerin ve etkin dergilerin nicel göstergelerle analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bununla birlikte çalışmada; en çok atıf alan yazar, dergi ve yıl özelinde tematik eğilimlere yönelik değerlendirmeler de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; peyzaj mimarlığı alanında renk çalışmalarının mevcut gelişimini anlamaya,

yeni araştırma alanlarını tanımlamaya ve ilgili literatüre bilimsel bir referans oluşturmaya katkı sağlayabilecektir.

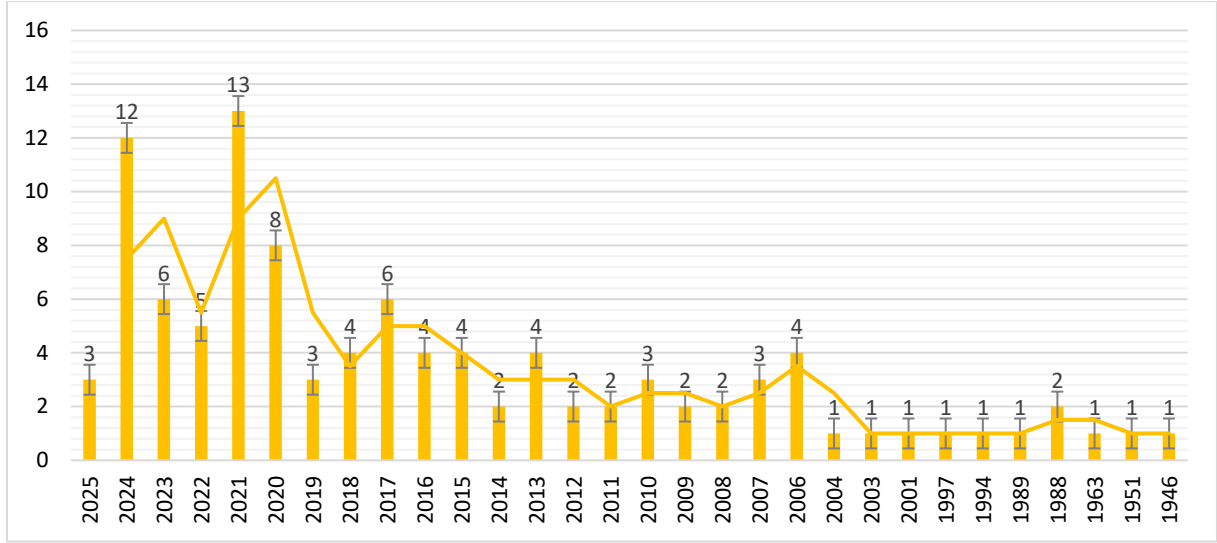
2. VERİ SETİ VE GÖSTERGE SEÇİMİ

Bildiri ana materyalini; 1946-2025 arasındaki süreçteki Scopus veri tabanı özelinde araştırma başlığı çerçevesinde “peyzajda renk” (color in the landscape)” konusu temelinde hazırlanmış 103 adet çalışma oluşturmıştır. Scopus veri tabanı yüksek etkili dergiler de dahil olmak üzere, çok disiplinli, hakemli literatürün indekslemesiyle geniş çapta tanındığı (Berwal ve Kumar, 2026) için bu çalışmada tercih edilmiştir. Çalışma konusu temelinde hazırlanmış çalışmalar; yıl bazlı yayın üretim durumu, doküman tipi, dil türü, etkin kurum-yazar-ülke dağılımları, öne çıkan anahtar kelimeler ile yüksek atıf alan yazar-dergi dağılım miktarları özelinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, sayısal olarak çizelge ve grafiklerle analiz edilmiştir. Tanımlayıcı veriler sayılar, yüzdeler ve sıralamalar şeklinde sunulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. İlgili Literatürün Zaman İçindeki Sayısal Değişimi ile Doküman ve Dil Türü Dağılımı

Peyzajda renk teması kapsamında, Scopus veri tabanında yayımlanmış toplam 103 çalışma belirlenmiştir. İlk yayın 1946’da yapılmış olmakla birlikte; süreç içerisinde değişken bir dağılım ortaya çıkmıştır. İlgili konuya ilişkin yapılan çalışmalarda en yoğun artışın 2021 (13 adet) ile 2024 (12 adet) yıllarında olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 2004 yılına kadarki süreçte yapılan çalışmalar (11 adet) genel toplamın yaklaşık %11’ini (11 adet yayın) oluştururken, 2006–2014 dönemi %23’lük (24 adet yayın) bir payı oluşturmıştır. Buna karşılık 2017–2025 aralığında üretilen çalışmaların (68 adet) oranı yaklaşık %66’ya ulaşmıştır. Bu durum araştırmaların büyük bir bölümünün son yıllarda yoğunlaştığını ve ilgili konunun literatürde hızlanan bir büyüme eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır (Görsel 1).

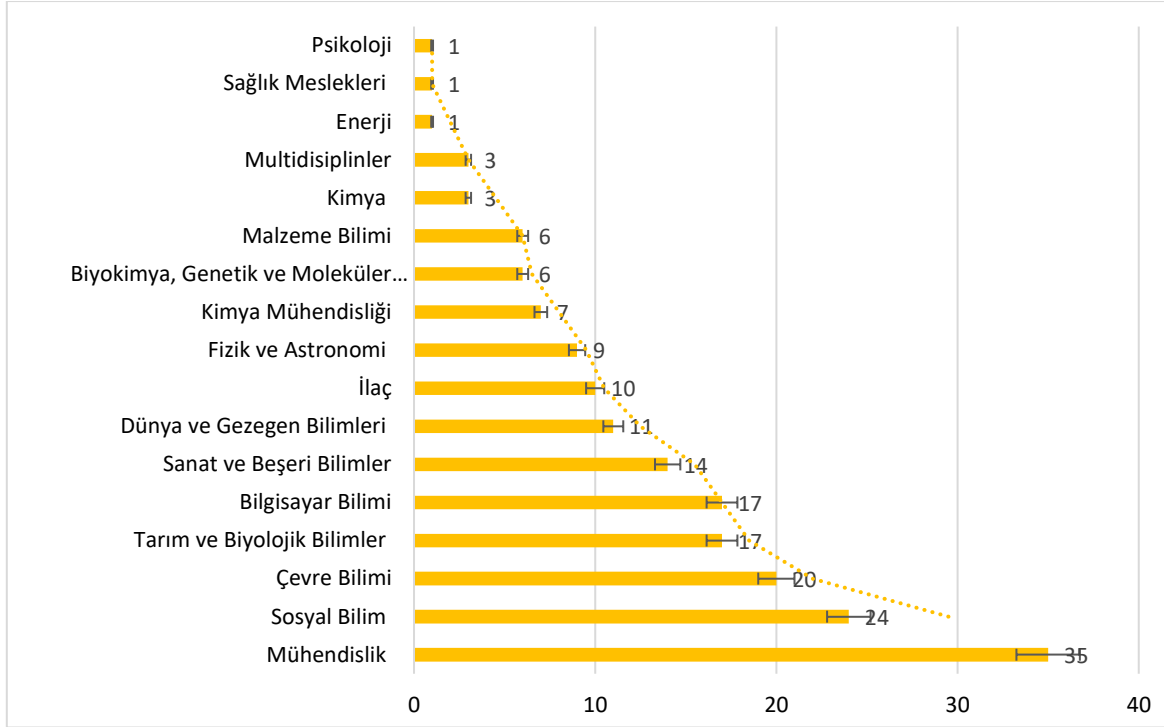


Görsel 1. Peyzajda renk konusunda yıl bazlı yayın üretim eğilimi

İlgili konuya ilişkin çalışmaların doküman türlerine göre dağılım oranları incelendiğinde, makalelerin (68 adet) %66 oranında ilk sırada yer aldığı, bunu %21,4 oranıyla konferans bildirilerinin (22 adet) izlediği saptanmıştır. İlgili çalışmaların yayımlandığı dil türü dağılımlarında ise; %88,35’lik bir oranla İngilizcenin (n=91) ağırlıklı olarak yer aldığı izlenmiştir. Bununla birlikte Çince (n=6), Japonca (n=3) ve Portekizce (n=3) dillerinde de yayınlar bulunduğu; Korece, İtalyanca ve Almanca dillerinde ise birer çalışma yayımlandığı saptanmıştır. Bu durum, kullanıcı profili açısından çeşitlilik olduğunun göstergesidir.

3.2. İlgili Literatürün Bilim Alanları Temelinde Yayın Dağılımı (İlk 10 alan)

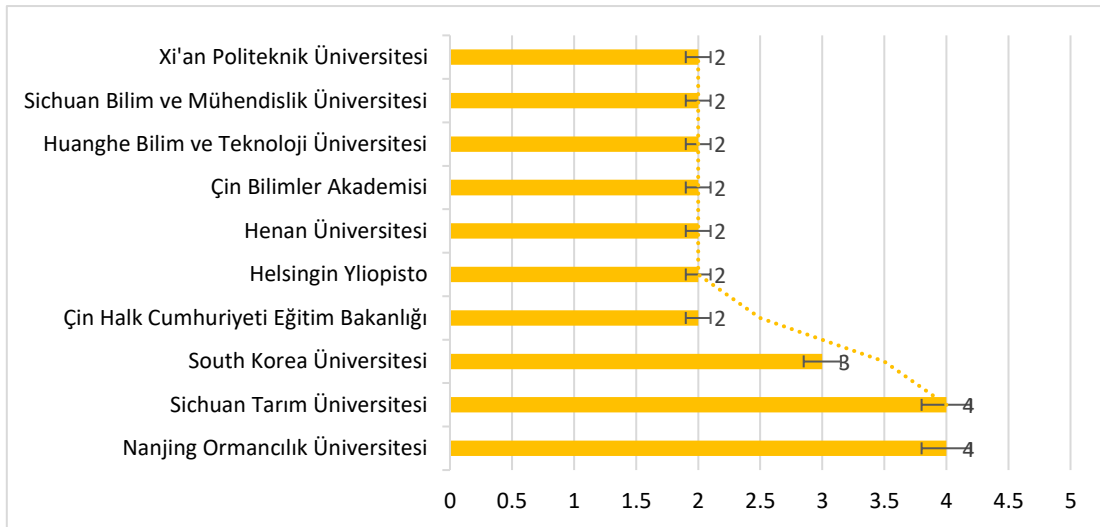
Peyzajda renk teması altında yapılan çalışmalar bilim alanlarına göre incelendiğinde; ilk olarak mühendislik, sosyal bilimler ve çevre bilimleri alanlarının öne çıktığı gözlemlenmiştir. Buna göre ilk sırada %18,9’luk oranla (35 adet) mühendislik temel alanı yer almıştır. Devamında %13’lük oranla (n:24) sosyal bilimler ve %10,8’lik oranla (n:20) çevre bilimleri alanı yer almıştır. Bununla birlikte ilgili konuda; fen, yaşam, ziraat ve sağlık temel alanlarında da çalışmalar yapıldığı gözlemlenmiştir (Görsel 2). Bu durum ilgili konunun interdisipliner anlamda ele alındığını göstermektedir. Aynı zamanda peyzajda rengin; estetik algı, mekânsal kimlik, ekolojik işlev ve kullanıcı deneyimi gibi çok boyutlu süreçleri içermesi ile ilişkilendirilebilir.



Görsel 2. Peyzajda renk konusunun bilim alanları bazında yayın dağılımı (en etkin 10 alan)

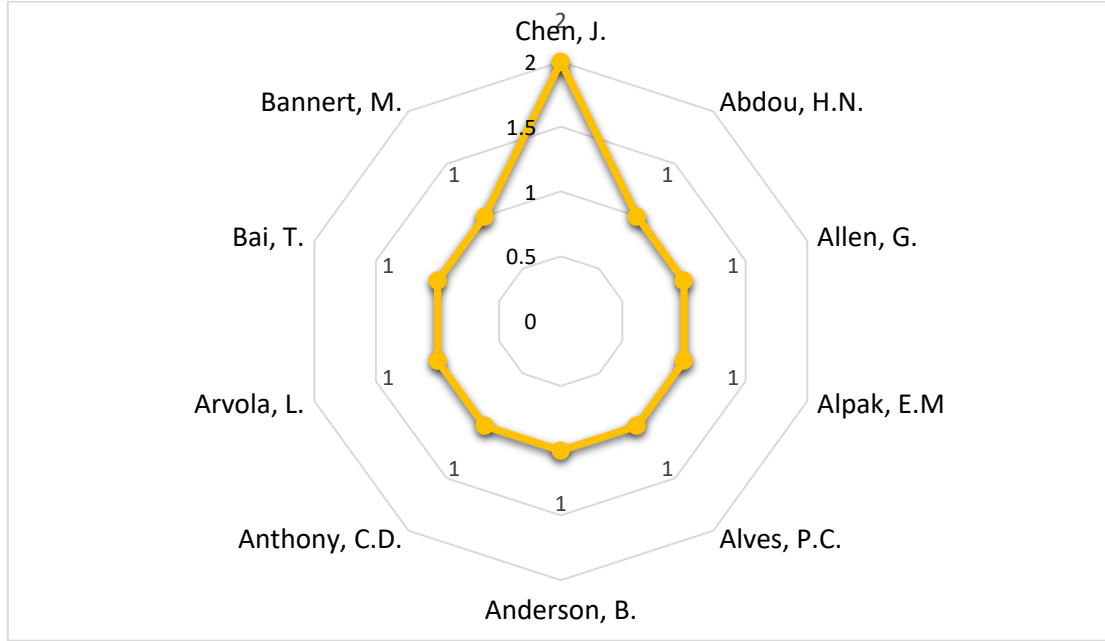
3.3. İlgili Konudaki En Etkin Kurum-Yazar-Ülke Dağılımları

Peyzajda renk temasında, en etkin kurumların hazırladıkları yayın sayıları incelendiğinde; dörder adet çalışma ile Çin’de yer alan “Nanjing Ormancılık Üniversitesi” ile “Sichuan Tarım Üniversitesi” ilk sırayı oluşturmuştur. Akabinde 3 adet yayın ile Güney Kore’de yer alan “South Korea Üniversitesi” öne çıkmıştır (Görsel 3). Bu durum, ilgili konunun özellikle Asya kıtasındaki ülkelerdeki üniversitelerde araştırma odaklı olarak dikkat çektiğini göstermiştir.



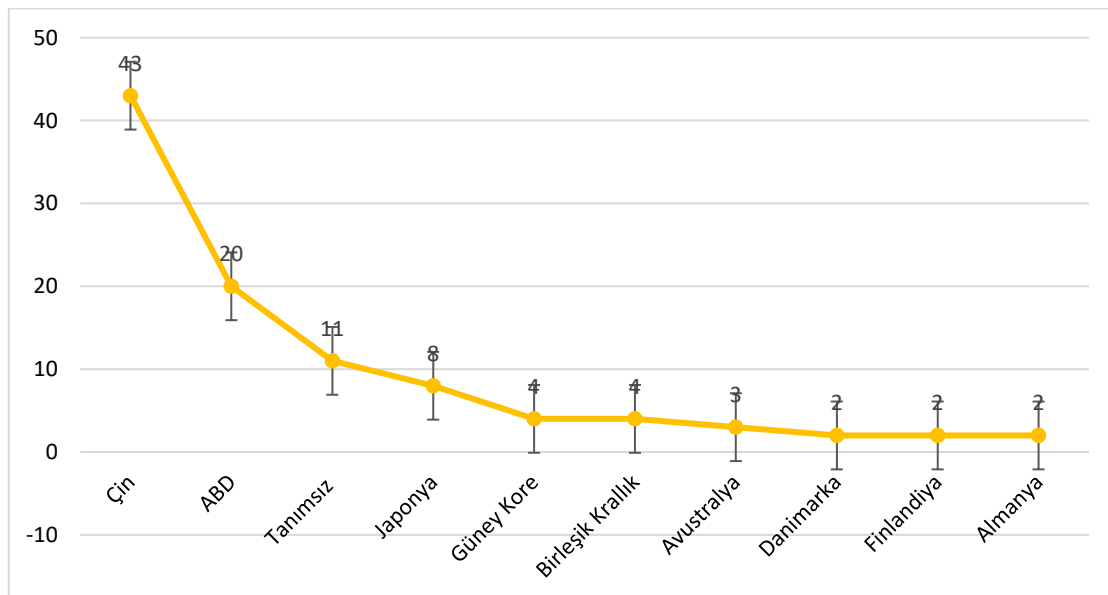
Görsel 3. Peyzajda renk konusunda en etkin kurumların hazırladıkları yayın sayıları

İlgili konudaki en etkin yazar ise 2 adet çalışma ile “Chen, J.” olmuştur. Diğer yayın yapan araştırmacılar kişi başı 1’er yayın yapmıştır (Görsel 4). Bu durum, ilgili konu alanında belirli kişilerin ön plana çıkmayıp, araştırmacılar açısından çeşitlilik olduğunu göstermektedir.



Görsel 4. İlgili konu özelinde en etkin yazarlar ve yayın sayısı dağılımları

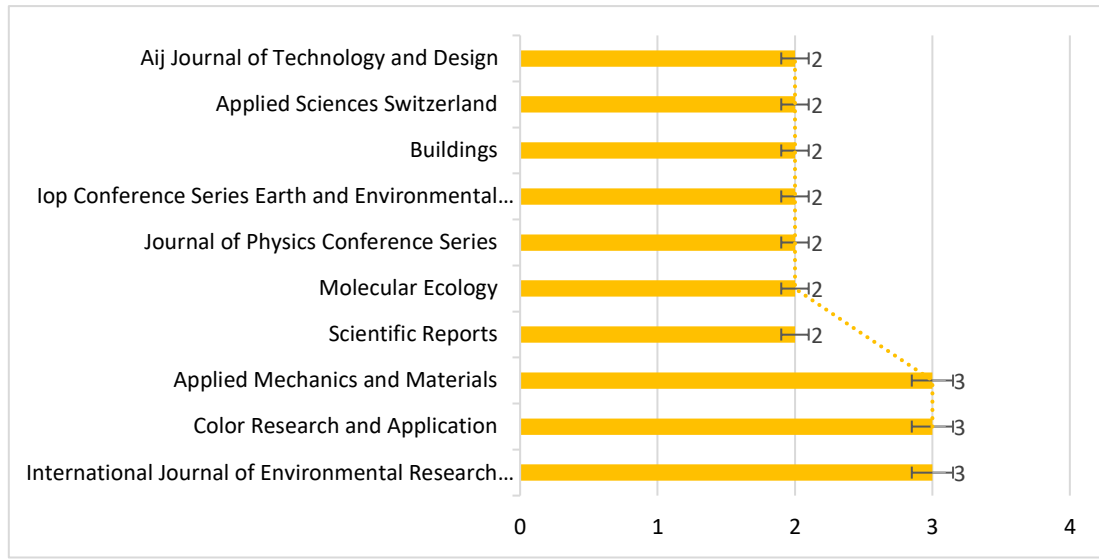
Peyzajda renk temasında, ülke bazında yayın üretim yoğunluğu en fazla olan ülkeler (ilk 10) incelendiğinde, ilk sırada 43 adet yayın ile Çin yer almıştır. ABD 30 yayınla ikinci sırada, 8 Yayın ile Japonya, 4 er yayın ile Güney Kore ve Birleşik Krallık öne çıkmıştır (Görsel 5). Bu durum özellikle gelişmiş ülkelerde ilgili konuya olan ilginin daha fazla olduğunu göstermiştir.



Görsel 5. Peyzajda renk temasında ülke bazında yayın üretim yoğunluğu en fazla olan ülkeler (ilk 10)

3.4. İlgili Konu Özelinde Dergilerin Yayın Üretim Etkinliğine Göre Dağılımı (İlk 10)

Peyzajda renk temasında yayımlanan dergilerin yayın üretim etkinliğine göre dağılımı incelendiğinde; ilk sırada 3'er adet yayın ile eşit miktarda yayın yapan "International Journal of Environmental Research and Public Health", "Color Research and Application" ile "Applied Mechanics and Material" yer almıştır. Bununla birlikte, ilgili konudaki çalışmaların; çevre, mimarlık, fen, mühendislik ve yaşam bilimleri gibi farklı alanlarda yoğunlaşan çeşitli dergiler kapsamında yayımlandığı görülmüştür. Bu durum ilgili konunun çok boyutlu olduğunu destekler niteliktedir (Görsel 6).



Görsel 6. Peyzajda renk temasında yayımlanan dergilerin yayın üretim etkinliğine göre dağılımı (İlk 10)

3.5. İlgili Konudaki Çalışmalardaki Anahtar Kelime Geçme Sıklığı (İlk 10)

İlgili konuya yönelik çalışmalarda öne çıkan ilk 10 anahtar kelime incelendiğinde; "peyzaj", "peyzaj tasarımı" ve "peyzaj mimarlığı" kelimelerinin anlamlı bir sıklığa ulaştığı görülmüştür. Bu durum, renk konusunun ağırlıklı olarak tasarım ve planlama temelli peyzaj çalışmaları bağlamında değerlendirildiğini göstermektedir (Çizelge 1).

"İnsan/insanlar" ve "tasarım" anahtar kelimelerinin öne çıkması ise; araştırmaların önemli bir bölümünün kullanıcı algısı, estetik değerlendirme ve insan-peyzaj etkileşimi ekseninde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır (Çizelge 1).

"Bitkiler" anahtar kelimesinin görece yüksek sıklığı ise, renk çalışmalarının bitkisel materyal ve mevsimsel renk etkileri üzerinden de değerlendirildiğini göstermektedir (Çizelge 1).

Coğrafi bir anahtar kelime olarak "Çin'in öne çıkması da, özellikle bu ülkenin ilgili alanın gelişiminde önemli bir araştırma odağı hâline geldiğini ve bu ülkenin peyzajda renk literatürüne

belirgin katkılar sunduğunu düşündürmektedir (Çizelge 1). Bu durum ilgili konuda en çok yayın yapan ülkenin Çin olması ile de örtüşmektedir.

Çizelge 1. İlgili Konudaki Çalışmalara İlişkin Anahtar Kelime Geçme Sıklığı

Anahtar Kelime	Geçme sıklığı
Renk	52
Peyzaj	12
Peyzaj tasarımı	9
İnsan	9
Tasarım	9
Bitkiler	8
İnsanlar	8
Peyzaj Mimarlığı	7
Renk tasarımı	6
Çin	5

3.6. İlgili Konuya Yönelik Yazar ve Dergiler Bazında Atıf Yoğunluğu (En etkin 12)

Peyzajda renk temasına yönelik yazar ve dergiler bazında atıf yoğunluğuna ilişkin bilgiler Çizelge 2. de sunulmuştur. Buna göre ilk sırada 447 adet atıf ile Stanley, C.A., (2006) tarafından hazırlanan “Coloring the academic landscape: Faculty of color breaking the silence in predominantly white colleges and universities” başlıklı makale yer almıştır. En fazla atıf alan dergiler ise “American Educational Research Journal” ve “Biogeochemistry” olmuştur. 2006 yılı da en fazla atfın yapıldığı dönem olmuştur. Atıf sayıları dikkate alındığında, farklı disiplinlere ait dergilerin öne çıkması, peyzajda renk konusunun tek bir disiplinle sınırlı olmadığını; çevre bilimleri, sosyal bilimler, haritacılık ve sağlık-iyi oluş alanlarıyla güçlü biçimde kesiştiğini ortaya koymaktadır. Makale başlıkları incelendiğinde; renk konusunun yalnızca fiziksel peyzaj değil, ekolojik, sosyal ve kavramsal bağlamlarda da güçlü biçimde temsil edildiği görülmüştür. Peyzaj planlama ve tasarım literatüründe güncel eğilimlerin; görsel algı, kullanıcı deneyimi, estetik değerlendirme ve bilişsel süreçler çerçevesinde ele alındığı saptanmıştır.

Çizelge 2. İlgili Konuya Yönelik Yazar ve Dergiler Bazında Atıf Yoğunluğu

Yazar ve Yıl	Yayın Başlığı	Dergi Adı	Atıf Sayısı
Stanley, C.A.,2006	Coloring the academic landscape: Faculty of color breaking the silence in predominantly white colleges and universities	American Educational Research Journal	447
Arvola, L., Rask, M., Ruuhijärvi, J., ... Ruoho-Airola, T., Tulonen, J.,2010	Long-term patterns in pH and colour in small acidic boreal lakes of varying hydrological and landscape settings	Biogeochemistry	66
Fernandez, R.N., Schulze, D.G., Coffin,	Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape	Soil Science Society of America Journal	63

D.L., Van Scoyoc, G.E.,1988			
Luo, X., Xu, L., Wang, Y., ... Zhu, Y., Liu, L.,2020	An ultra-high-density genetic map provides insights into genome syntenic, recombination landscape and taproot skin colour in radish (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Plant Biotechnology Journal	57
Rankin-Wright, A.J., Hylton, K., Norman, L.,2016	Off-colour landscape: Framing race equality in sport coaching	Sociology of Sport Journal	46
Brown, D.J., Clayton, M.K., McSweeney, K.,2004	Potential terrain controls on soil color, texture contrast and grain-size deposition for the original catena landscape in Uganda	Geoderma	145
Parra, E.R., Zhai, J., Tamegnon, A., ... Sepesi, B., Haymaker, C.,2021	Identification of distinct immune landscapes using an automated nine-color multiplex immunofluorescence staining panel and image analysis in paraffin tumor tissues	Scientific Reports	41
Neale, C., Griffiths, A., Chalmin-Pui, L.S., ... Boukhechba, M., Roe, J.,2021	Color aesthetics: A transatlantic comparison of psychological and physiological impacts of warm and cool colors in garden landscapes	Wellbeing Space and Society	41
Çöltekin, A., Brychtová, A., Griffin, A.L., ... Imhof, M., Pettit, C.,2017	Perceptual complexity of soil-landscape maps: a user evaluation of color organization in legend designs using eye tracking	International Journal of Digital Earth	41
Cheng, Y., Tan, M.,2018	The quantitative research of landscape color: A study of Ming Dynasty City Wall in Nanjing	Color Research and Application	38

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Peyzajda renk araştırmalarını sistematik olarak düzenleyen çalışmaların sınırlılığı göz önüne alındığında, bu çalışma, 1946-2025 arasındaki süreçte bu alanlardaki ana katkıları vurgulamak amacıyla geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, peyzajda renk çalışmalarının yalnızca görsel bir tasarım unsuru değil; algısal, ekolojik ve sosyal boyutlarıyla peyzaj planlama ve tasarım literatüründe bir araştırma teması hâline geldiğini göstermektedir.

- Peyzaj bağlamında renk üzerine yapılan araştırmaların, özellikle 2020 yılından bu yana, akademik alanda belirgin bir artış gösterdiği saptanmıştır. Bu büyüme, peyzaj renk ilişkisinin giderek daha fazla kabul görmesini yansıtmaktadır.
- İlgili konu özelinde; etkin yazarlarda çeşitlilik görülmesine rağmen, en fazla atıf alan yazar ‘Stanley, C.A.’ olmuştur.
- İlgili konu özelinde, en fazla atıf alan dergiler ‘‘American Educational Research Journal’’ ve ‘‘Biogeochemistry’’ iken 2006 yılı en fazla atıfın yapıldığı dönem olmuştur. Bununla birlikte ilgili konuda en çok yayının yapıldığı 2021 dönemi, ‘‘82 adet’’ atıf ile 2. sırada en

yoğun atfın yapıldığı yıl olmuştur. Atfı analizleri, peyzajda renk konusunun disiplinler arası bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Yüksek atfı alan yayın ve dergilerin çevre bilimleri, sosyal bilimler ve sağlık–iyi oluş gibi farklı alanlara ait olması, konunun yalnızca fiziksel peyzajla sınırlı kalmadığını; ekolojik, sosyal ve kavramsal boyutlarda da ele alındığını göstermektedir. Genel olarak literatürdeki güncel eğilimlerin, peyzaj planlama ve tasarım bağlamında görsel algı, kullanıcı deneyimi, estetik değerlendirme ve bilişsel süreçler çerçevesinde şekillendiğini göstermiştir. Bu durum konunun disiplinler arası önemini desteklemektedir.

- En etkili kurum ve ülkede Çin öne çıkmıştır. Bu durum, ilgili ülke özelinde literatürde peyzajda renk konusunun belirgin bir araştırma odağı hâline geldiğini göstermiştir.
- Peyzajda renk konusuna ilişkin yayınların en yoğun olarak yer aldığı ve alana yön veren dergiler, “International Journal of Environmental Research and Public Health”, “Color Research and Application” ve “Applied Mechanics and Materials” olmuştur.

Sonuç olarak bu çalışma, peyzaj mimarlığında renk konusunun yalnızca kuramsal ve uygulamalı boyutlarını değil, aynı zamanda akademik üretim dinamiklerini nicel olarak değerlendiren bir süreci içermesi açısından, gelecekteki araştırmalar için stratejik bir referans ve yönlendirici bir temel sunma potansiyeli oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Arvola, L., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Ruoho-Airola, T., Tulonen, J., & diğerleri. (2010). Long-term patterns in pH and colour in small acidic boreal lakes of varying hydrological and landscape settings. *Biogeochemistry*, 101(1–3), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9473-y>.
- [2] Brown, D. J., Clayton, M. K., & McSweeney, K. (2004). Potential terrain controls on soil color, texture contrast and grain-size deposition for the original catena landscape in Uganda. *Geoderma*, 122(1–2), 51–72. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.12.004>.
- [3] Chen, S., Liu, L., Chen, C., Haase, D. (2022). The Interaction between Human Demand and Urban Greenspace Supply for Promoting Positive Emotions with Sentiment Analysis from Twitter. *Urban For. Urban Green*, 78, 127763. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127763>.
- [4] Cheng, Y., & Tan, M. (2018). The quantitative research of landscape color: A study of Ming Dynasty City Wall in Nanjing. *Color Research & Application*, 43(1), 64–75. <https://doi.org/10.1002/col.22203>.
- [5] Çöltekin, A., Brychtová, A., Griffin, A. L., Imhof, M., Pettit, C. (2017). Perceptual complexity of soil-landscape maps: A user evaluation of color organization in legend designs using eye tracking. *International Journal of Digital Earth*, 10(5), 560–581. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1234007>.
- [6] Enwin, A.D., Ikiriko, T.D. & Jonathan-Ihua, G.O. (2023). The role of colours in interior design of liveable spaces. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 1(4), 242-262. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1\(4\).25](https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1(4).25).

- [7] Fernandez, R. N., Schulze, D. G., Coffin, D. L., & Van Scoyoc, G. E. (1988). Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. *Soil Science Society of America Journal*, 52(4), 1023–1028. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040023>
- [8] He, F., He, Y., Sun, L. (2023). Gender differences in color perceptions and preferences of urban façades based on a virtual comparison. *Build. Environ.* 245, 110907. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110907>Get rights and content.
- [9] Hegetschweiler, K.T., Wartmann, F., Dubernet, I., Hunziker, M. (2022). Urban forest usage and perception of ecosystem services—a comparison between teenagers and adults. *Urban For. Urban Green.*, 74, 127624. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127624>.
- [10] Hoyle, H., Hitchmough, J., Jorgensen, A (2017). All about the ‘Wow Factor’? The Relationships between Aesthetics, Restorative Effect and Perceived Biodiversity in Designed Urban Planting. *Landsc. Urban Plan.*, 164, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.03.011>.
- [11] Hu, K., Xu, Z., Wang, X., Wang, Y., Li, H., Zhang, Y. (2023). Research on street color environment perception based on CEP-KASS framework. *Buildings*, 13, 2649. <https://doi.org/10.3390/buildings13102649>.
- [12] Jia, H., Luo, P., Yang, H., Luo, C., Li, H., Wu, S., Cheng, Y., Huang, Y., Xie, W.(2022). Exploring the relationship between forest scenic beauty with color index and ecological integrity: case study of Jiuzhaigou and Giant Panda National Park in Sichuan, China. *Forests*, 13, 1883. <https://doi.org/10.3390/f13111883>.
- [13] Kaufman, A.J. ve Lohr, V.I. (2004). Does plant color affect emotional and physiological responses to landscapes? *Acta Hortic.*, 639, 229–233. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.639.29>.
- [14] Luo, X., Xu, L., Wang, Y., Zhu, Y., Liu, L., & diğerleri. (2020). An ultra-high-density genetic map provides insights into genome syteny, recombination landscape and taproot skin colour in radish (*Raphanus sativus* L.). *Plant Biotechnology Journal*, 18(1), 274–286. <https://doi.org/10.1111/pbi.13195>.
- [15] Ma, B., Hauer, R.J., Xu, C. (2020). Effects of design proportion and distribution of color in urban and suburban green space planning to visual aesthetics quality. *Forests*, 11, 278. <https://doi.org/10.3390/f11030278>.
- [16] Naderi Gorzaldini, M. (2016). The effects of colors on the quality of urban appearance. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 7(5), 225-231. <https://doi.org/10.5901/mjss.2016.v7n5p225>.
- [17] Neale, C., Griffiths, A., Chalmin-Pui, L. S., Mendu, S., Boukhechba, M., Roe, J. (2021). Color aesthetics: A transatlantic comparison of psychological and physiological impacts of warm and cool colors in garden landscapes. *Wellbeing, Space and Society*, 2, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.wss.2021.100038>.
- [18] Parra, E. R., Zhai, J., Tamegnon, A., Zhou, N., Pandurengan, RK., Barreto, C., Jiang, M., Rice, DC., Creasy, C., Vaporciyan, AA., Hofstetter, WL., Tsao, AS., Wistuba, I.I., Sepesi, B., Haymaker, C. (2021). Identification of distinct immune landscapes using an

- automated nine-color multiplex immunofluorescence staining panel and image analysis in paraffin tumor tissues. *Scientific Reports*, 11, 4537.
- [19] Pasek, J. (2014). The influence of colour solution of the etics surface on its thermal exposition. *Adv. Eng. Forum*, 12, 88–92. [https://doi.org/ 10.4028/www.scientific.net/AEF.12.88](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.12.88).
 - [20] Pasek, J. ve Bosova, D. (2014). Impact of facade colouring on temperature and light conditions of buildings, Housing Estates, and Environment. *Adv. Mater. Res.*, 899, 135–138. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.899.135>.
 - [21] Rankin-Wright, A. J., Hylton, K., & Norman, L. (2016). Off-colour landscape: Framing race equality in sport coaching. *Sociology of Sport Journal*, 33(3), 255–269. [https://doi.org/ 10.1123/ssj.2015-0174](https://doi.org/10.1123/ssj.2015-0174)
 - [22] Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Assimakopoulos, D. N., & Assimakopoulos, M. N. (2017). On the impact of urban heat island effect and daylighting in residential buildings' energy demand. *Energy and Buildings*, 139, 49-59.
 - [23] Stanley, C. A. (2006). Coloring the academic landscape: Faculty of color breaking the silence in predominantly White colleges and universities. *American Educational Research Journal*, 43(4), 701–736. <https://doi.org/10.3102/00028312043004701>.
 - [24] Xu, T., Wang, S., Liu, Q., Kim, J., Zhang, J., Ren, Y., Ta, N., Wang, X., Wu, J. (2023). Vegetation color exposure differences at the community and individual levels: an explanatory framework based on the neighborhood effect averaging problem. *Urban For. Urban Green.*, 86, 128001. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128001>.
 - [25] Yin, M., Li, K., Xu, Z., Jiao, R., & Yang, W. (2024). Exploring the impact of autumn color and bare tree landscapes in virtual environments on human well-being and therapeutic effects across different sensory modalities. *PLoS ONE*, 19(4), e0301422. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301422>.
 - [26] Zhang, C., Chen, Y., Dewancker, B. J., Shentu, C., Tian, H., Liu, Y., Wan, J., Zhang, X., & Li, J. (2024). Emotional landscapes in urban design: Analyzing color emotional responses of the elderly to community outdoor spaces in Yi Jie Qu. *Buildings*, 14(3), 793. <https://doi.org/10.3390/buildings14030793>.
 - [27] Zhang, L., Dempsey, N., Cameron, R. (2023). Flowers—Sunshine for the Soul! How Does Floral Colour Influence Preference, Feelings of Relaxation and Positive Up-Lift? *Urban For. Urban Green.*, 79, 127795. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127795>.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BIOPHILIC URBAN APPROACH THROUGH THE CITIES OF SINGAPORE AND BERLIN

Makbulenur ONUR

Associate Prof. Department of Landscape Architecture, Forest Faculty, Karadeniz Technical University,
Trabzon, Türkiye (Responsible Author) ORCID: 0000-0003-4511-1284
mnurbekar@ktu.edu.tr

Demet Ulku GULPINAR SEKBAN

Asist.Prof. Dr., Department of Landscape Architecture, Forest Faculty, Karadeniz Technical University,
Trabzon, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9614-6009
demetsekb@ktu.edu.tr

Abstract

The biophilic design approach, which aims to strengthen the interaction between humans and nature, seeks to increase natural elements in cities and create living spaces where people can integrate with nature. Biophilic design is an approach applicable not only at the building scale but also at the urban scale, supporting the integration of nature into city life through green infrastructure, ecological networks, and nature-based solutions in urban planning processes. The implementation of this approach at the urban level enables cities to acquire biophilic characteristics while also allowing urban residents to experience a closer relationship with nature. Among the globally recognized examples of successful biophilic urban approaches, Singapore and Berlin stand out prominently. Despite its dense urbanization, Singapore is regarded as one of the pioneering examples of the biophilic urban approach through its "nature in the city" strategies, extensive green infrastructure systems, vertical gardens, and water-focused landscape arrangements. Berlin, on the other hand, presents an urban fabric integrated with nature through its extensive green space system, park networks, urban ecological corridors, and sustainable planning policies. Within the scope of this study, the biophilic urban characteristics of Singapore and Berlin have been examined at the urban scale. Using various spatial and environmental parameters that define the biophilic urban approach, the two cities' natural infrastructure systems, green space distributions, and forms of urban interaction with nature have been evaluated. The findings reveal that the application of biophilic design principles at the urban scale makes significant contributions to the creation of sustainable, healthy, and nature-compatible urban living environments.

Keywords: Singapore, Berlin, biophilic design, biophilic cities.

Biyofilik Kent Yaklaşımının Singapur ve Berlin Kentleri Üzerinden Karşılaştırmalı Analizi

Öz

İnsan ve doğa arasındaki etkileşimi güçlendirmeyi amaçlayan biyofilik tasarım yaklaşımı, kentlerde doğal unsurların artırılmasını ve insanların doğayla bütünleşebildiği yaşam alanlarının oluşturulmasını hedeflemektedir. Biyofilik tasarım yalnızca bina ölçeğinde değil, aynı zamanda kent ölçeğinde de uygulanabilen bir yaklaşım olup, kentsel planlama süreçlerinde yeşil altyapı, ekolojik ağlar ve doğa temelli çözümler aracılığıyla doğanın kent yaşamına

entegre edilmesini desteklemektedir. Bu yaklaşımın kent düzeyinde uygulanması, hem kentin biyofilik özellikler kazanmasına hem de kentlilerin doğayla daha yakın bir yaşam deneyimi elde etmesine olanak sağlamaktadır. Dünya genelinde biyofilik kent yaklaşımını başarıyla uygulayan örnekler arasında Singapur ve Berlin öne çıkmaktadır. Singapur, yoğun kentleşmeye rağmen geliştirdiği “şehir içinde doğa” stratejileri, yaygın yeşil altyapı sistemleri, dikey bahçeler ve su odaklı peyzaj düzenlemeleri ile biyofilik kent yaklaşımının öncü örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Berlin ise geniş yeşil alan sistemi, park ağları, kentsel ekolojik koridorları ve sürdürülebilir planlama politikaları sayesinde doğayla bütünleşmiş bir kentsel yapı sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında Singapur ve Berlin kentlerinin biyofilik kent özellikleri kent ölçeğinde incelenmiştir. Araştırmada biyofilik kent yaklaşımını belirleyen çeşitli mekânsal ve çevresel parametreler kullanılarak iki kentin doğal altyapı sistemleri, yeşil alan dağılımları ve doğa ile kurulan kentsel etkileşim biçimleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, biyofilik tasarım ilkelerinin kent ölçeğinde uygulanmasının sürdürülebilir, sağlıklı ve doğa ile uyumlu kentsel yaşam ortamlarının oluşturulmasına önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Singapur, Berlin, biyofilik tasarım, biyofilik kentler.

Introduction

The biophilic city approach is a holistic approach that envisions the systematic application of nature-based solutions in urban planning and design processes. In this context, the development of green infrastructure systems, the creation of ecological corridors, and the design of public spaces that strengthen the interaction between nature and humans are among the fundamental components of biophilic cities. Studies in the literature show that the application of biophilic design principles at the city scale not only provides aesthetic improvement but also strengthens urban ecosystem services, supports biodiversity, and increases the physical and psychological well-being of city dwellers. In this context, biophilic city strategies make significant contributions to the creation of sustainable and livable cities through the integrated consideration of the continuity of green space networks, the ecological management of water systems, and nature-based planning approaches (Thomas, Xing 2021). The application of biophilic design at the city scale aims to integrate nature-based solutions into urban planning processes and strengthen human-nature interaction. Studies in the literature show that green infrastructure systems, public green space networks, and spatial arrangements that support interaction with nature are among the fundamental components of biophilic cities. This approach is considered a holistic urban development model that not only supports environmental sustainability but also improves the quality of life and well-being of city dwellers (Xue et al., 2019).

Singapore's biophilic city approach is not limited to increasing green spaces but also aims to create a symbiotic relationship between humans and other living species in the city. In this context, studies reveal that Singapore's "City in Nature" vision addresses the urban biophilic approach through the conservation of biodiversity, the development of green infrastructure, and the management of human-animal interaction within urban ecosystems. In particular, research examining the governance of co-existence with urban wildlife shows that biophilic city policies in Singapore are not limited to plant landscape and green space planning; they also encompass

the social and political dimensions of co-existence with urban fauna. This approach reveals that the biophilic character of the city is shaped not only through spatial design but also through ecological governance and diverse urban living practices (Wong, 2024).

Singapore's biophilic city approach is based on integrating green infrastructure systems with urban planning. In this context, parks, green corridors, and water systems are considered within a network structure, strengthening urban ecology and ensuring the integration of nature into urban life. Thanks to the developed park connection systems and green pathways, continuity is created between different green areas, thus supporting ecological networks and enabling city dwellers to establish a stronger relationship with nature (Sini, 2019).

Berlin maintains its position as one of the leading successful examples on a European scale in terms of urban green infrastructure planning. In the city, park areas, forest fragments, green corridors along the river, and open public spaces are planned and managed not as independent elements but as parts of a functional ecological network. This systematic and integrated approach supports the sustainability of urban biodiversity while contributing to the creation of high-quality public spaces where city dwellers can establish direct and meaningful relationships with nature in their daily lives. Shaped by strong environmental policies, long-term green space strategies, and an integrated planning approach, this structure positions Berlin among Europe's reference cities where biophilic city principles are embodied (el-Baghdadi, O. Desha 2017).

Berlin stands out as one of the strong examples of urban green infrastructure planning in Europe. Parks, forest areas, water corridors, and open green spaces are planned within an interconnected network system, creating both ecological continuity and a multifunctional urban landscape. This holistic approach contributes to the conservation of biodiversity while simultaneously supporting the development of public spaces where city residents can interact directly with nature. Therefore, Berlin's green infrastructure system is considered an important example of sustainable and nature-integrated urban planning (Reeve et al., 2015).

Biophilic Urban Parameters

Biophilic cities are defined as living spaces where nature is integrated into the urban fabric not haphazardly, but systematically and functionally. Examining the parameters that determine the fundamental characteristics of these cities reveals that interconnected green infrastructure networks and ecological corridors function as a backbone ensuring the continuity of the urban ecosystem. The conservation and support of urban biodiversity are directly related to the functionality of these networks, while water-based landscape systems make significant contributions to both ecological balance and the regulation of the urban microclimate. The fair and inclusive distribution of green spaces, accessible to city dwellers, stands out as an indicator of quality not only environmentally but also socially. Including all these elements in urban planning processes from the outset makes it possible for nature to transform from an added element into a constitutive component of the city. Ultimately, the main goal of the biophilic city approach is to re-establish the interaction between humans and nature permanently on an urban scale.

- Green infrastructure network
- Ecological corridors
- Urban biodiversity

- Water-based landscape systems
- Accessibility of green spaces
- Integration of nature in urban planning
- Urban–nature interaction

Comparative Analysis Section

This stage of the study focuses on Singapore and Berlin, two of the most prominent and referenced examples of biophilic urban design approaches worldwide. Singapore is considered one of the most comprehensive application areas of biophilic design on a global scale, with its urban transformation process evolving from a "Garden City" vision to a "City in a Garden" concept. The city has established a holistic nature-city relationship by integrating nature not only at the scale of parks and green spaces, but also into every layer of the built environment, such as building facades, rooftop gardens, bridges, and transportation infrastructure. Urban biodiversity is actively supported through dense tropical vegetation, landscape design integrated with water systems, and ecological corridors. Iconic projects such as Gardens by the Bay concretely demonstrate how natural systems can be reinterpreted at an architectural scale. Berlin, despite having a different geography and urban history, constitutes one of the strongest examples in Europe in terms of biophilic city principles.

The city's extensive green infrastructure network, consisting of forest areas, river corridors, inner-city parks, and biotope-type vacant lands, is planned as a functional system that ensures urban ecological continuity. Furthermore, Berlin's inclusive policies regarding access to nature and its long-term sustainability strategies position biophilic design not merely as a spatial preference, but as an integral part of its urban management approach. Both cities successfully exemplify how nature can be systematically, functionally, and inclusively integrated into urban life, across different climates, cultures, and planning traditions.

The main reason for selecting these two cities for this study is that they have consistently and measurably implemented biophilic design principles in different geographical, climatic, and urban contexts. Singapore proves that it is possible to integrate dense construction with nature in tropical climates, while Berlin demonstrates how historical urban fabric can be harmonized with nature in a temperate climate. This contrast provides significant comparative depth to the research in terms of understanding how the universal principles of biophilic design can be adapted to different conditions. In addition, the fact that both cities have documented policy documents, long-term planning strategies, and measurable implementation outcomes provides a reliable and analyzable data base for the comparative case analysis method. With these characteristics, Singapore and Berlin were identified as the most suitable case studies to test the conceptual framework of the study and to evaluate biophilic design criteria through concrete urban examples (Table 1).

Table 1. Comparison Table

Parameter	Singapore	Berlin
Green infrastructure	Extensive vertical greenery and park networks	Large park system and forest areas
Ecological corridors	Park connector network	Ecological green corridors
Water integration	Reservoirs and water landscapes	Rivers and water corridors
Biodiversity strategy	City in Nature policy	Urban biodiversity programs

Biophilic Urban Evaluation Parameters

Singapore and Berlin represent two significant international examples demonstrating the application of biophilic principles at the urban scale. Although these cities differ considerably in terms of climate, urban density and planning traditions, both have successfully integrated natural systems into their urban development strategies.

Singapore is widely recognized as one of the pioneering examples of biophilic urbanism through its ambitious “City in Nature” vision. Despite its high population density and limited land resources, the city has developed an extensive green infrastructure system that integrates vegetation and water elements into the urban environment. Strategies such as vertical greenery, rooftop gardens, sky terraces and interconnected park systems enable nature to be embedded within dense urban structures. The Park Connector Network (PCN), which connects parks, natural reserves and waterfront areas across the city, plays a crucial role in establishing ecological continuity and providing residents with accessible green recreational spaces. In addition to spatial strategies, Singapore’s urban policies also emphasize biodiversity conservation and the coexistence of humans and wildlife within the city.

Berlin, on the other hand, demonstrates a different model of biophilic urbanism characterized by large-scale green areas and ecological landscape planning. The city possesses an extensive network of parks, urban forests, rivers and open spaces that form a continuous ecological system throughout the metropolitan area. Berlin’s green infrastructure is supported by long-term environmental policies and integrated landscape planning strategies aimed at preserving biodiversity and ecological balance. Rivers such as the Spree and numerous urban green corridors play a significant role in connecting natural habitats while simultaneously providing recreational opportunities for residents.

While Singapore primarily integrates nature vertically and through compact urban design strategies, Berlin incorporates nature horizontally through expansive green spaces and ecological corridors. Despite these structural differences, both cities demonstrate that the integration of green infrastructure systems, ecological networks and nature-based planning strategies can significantly enhance urban sustainability and residents’ quality of life.

The comparative analysis indicates that biophilic urban strategies are adaptable to different climatic, cultural and spatial contexts. Singapore illustrates how nature can be embedded within highly dense urban environments, whereas Berlin exemplifies how extensive green landscapes can be preserved and integrated within metropolitan planning frameworks. These examples highlight the importance of adopting holistic planning approaches that strengthen the relationship between cities and nature.

Table 2. Biophilic Urban Parameters for the Comparative Analysis of Singapore and Berlin

Parameter	Singapore	Berlin
Green infrastructure system	Extensive green infrastructure including vertical greenery, rooftop gardens and park connector networks	Large-scale green infrastructure consisting of urban forests, parks and open green spaces
Ecological corridors	Park Connector Network (PCN) linking parks and natural reserves	Ecological green corridors connecting parks, forests and river systems
Water-based landscape integration	Reservoir parks, waterfront landscapes and integrated water management	River-based green corridors along the Spree and extensive water landscapes
Urban biodiversity strategies	“City in Nature” strategy promoting biodiversity conservation and habitat creation	Urban biodiversity programs focusing on habitat protection and ecological planning
Accessibility of green spaces	High accessibility through interconnected park systems and urban green routes	Wide distribution of public parks and urban forests accessible to residents
Integration of nature in urban planning	Nature integrated through vertical greenery, sky gardens and nature-based planning policies	Nature integrated through landscape planning, ecological zoning and green infrastructure policies
Urban–nature interaction	Interactive green spaces and nature-based recreational environments	Large public parks and natural landscapes supporting everyday interaction with nature

Conclusion

This study comparatively examined the biophilic urban characteristics of Singapore and Berlin in order to understand how nature can be effectively integrated into urban environments. The findings demonstrate that both cities successfully incorporate biophilic principles into their planning and design strategies, although they adopt different spatial approaches. Singapore primarily integrates nature within dense urban structures through vertical greenery, interconnected park systems and water-based landscapes, while Berlin emphasizes large-scale green areas, ecological corridors and extensive park networks to maintain a strong urban–nature relationship.

The comparative analysis indicates that the application of biophilic urban strategies significantly contributes to creating healthier, more sustainable and environmentally responsive cities. Despite differences in climate, urban form and planning traditions, both examples highlight the importance of green infrastructure systems, ecological connectivity and nature-based planning in strengthening the relationship between urban residents and the natural environment. These findings suggest that integrating biophilic principles into urban planning can play a critical role in improving urban livability and promoting sustainable urban development.

References

- el-Baghdadi, O., & Desha, C. (2017). Conceptualising a biophilic services model for urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 399-408.
- Reeve, A. C., Desha, C., Hargreaves, D., & Hargroves, K. (2015). Biophilic urbanism: contributions to holistic urban greening for urban renewal. *Smart and sustainable built environment*, 4(2), 215-233.
- Sini, R. (2019). Singapore's green infrastructure and biophilic urbanism. In *Singapore's park system master planning: a nation building tool to construct narratives in post-colonial countries* (pp. 211-251). Singapore: Springer Singapore.
- Thomas, C., & Xing, Y. (2021). To what extent is biophilia implemented in the built environment to improve health and wellbeing?—state-of-the-art review and a holistic biophilic design framework. *Emerging research in sustainable energy and buildings for a low-carbon future*, 227-247.

Wong, G. (2024). Lion City zoopolis: Urban crittizenship in biophilic Singapore. *Anthrozoös*, 37(2), 213-229.

Xue, F., Gou, Z., Lau, S. S. Y., Lau, S. K., Chung, K. H., & Zhang, J. (2019). From biophilic design to biophilic urbanism: Stakeholders' perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 211, 1444-1452.

BIOPHILIC DESIGN IN CHILDREN'S PLAYGROUNDS: A COMPARATIVE EVALUATION

Makbulenur ONUR

Associate Prof. Department of Landscape Architecture, Forest Faculty, Karadeniz Technical University,
Trabzon, Turkiye (Responsible Author) ORCID: 0000-0003-4511-1284
mnurbekar@ktu.edu.tr

Demet Ulku GULPINAR SEKBAN

Asist.Prof. Dr., Department of Landscape Architecture, Forest Faculty, Karadeniz Technical University,
Trabzon, Turkiye, ORCID: 0000-0002-9614-6009
demetsekb@ktu.edu.tr

Abstract

The positive effects of the human-nature connection on health, psychological well-being, and overall quality of life have been increasingly emphasized in recent years across various disciplines. In this context, biophilic design has emerged as a significant design strategy aimed at strengthening the relationship between humans and nature within urban planning and design processes. Particularly during childhood, interaction with nature plays a critical role in physical activity, cognitive development, and emotional well-being. Therefore, the incorporation of biophilic principles in the design of children's playgrounds is of great importance. This study aims to demonstrate the necessity of applying biophilic design principles in children's playgrounds and to evaluate the effects of this approach on children's development. Within the scope of the research, children's playgrounds incorporating biophilic design features were comparatively examined alongside conventional playgrounds lacking such characteristics. It was observed that elements such as natural materials, vegetation, water features, varied ground textures, and natural light in biophilic playgrounds enrich children's spatial experiences. These elements were found to increase children's physical activity levels, support creativity and a sense of exploration, and strengthen their connection with nature. In contrast, conventional playgrounds were found to consist predominantly of artificial materials and offer limited spatial diversity. The findings indicate that playgrounds designed in accordance with biophilic design principles enhance creativity, problem-solving skills, and social interaction in children, while also reducing stress levels and improving attention and concentration. As a result of the study, biophilic design-based playground planning and design recommendations were developed for the disciplines of landscape architecture and urban design, aiming to contribute to the creation of healthy and sustainable play environments where children can directly interact with nature.

Keywords: Biophilic design, biophilic playgrounds, playgrounds

Çocuk Oyun Alanlarında Biyofilik Tasarım: Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme

Öz

Doğayla kurulan bağın insan sağlığı, psikolojik iyilik hâli ve genel yaşam kalitesi üzerindeki olumlu etkileri son yıllarda farklı disiplinlerde yapılan çalışmalarla giderek daha fazla vurgulanmaktadır. Bu bağlamda biyofilik tasarım yaklaşımı, insanların doğayla olan ilişkisini

güçlendirmeyi amaçlayan önemli bir tasarım stratejisi olarak kentsel mekân planlama ve tasarım süreçlerinde öne çıkmaktadır. Özellikle çocukluk döneminde doğayla kurulan etkileşim, fiziksel aktivite, bilişsel gelişim ve duygusal iyilik hâli açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle çocuk oyun alanlarının tasarımında biyofilik ilkelerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, çocuk oyun alanlarında biyofilik tasarım ilkelerinin uygulanmasının gerekliliğini ortaya koymayı ve bu yaklaşımın çocukların gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında biyofilik tasarım özelliklerine sahip çocuk oyun alanları ile bu özellikleri taşımayan geleneksel oyun alanları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Biyofilik oyun alanlarında doğal malzemelerin kullanımı, bitki örtüsü, su öğeleri, farklı zemin dokuları ve doğal ışık gibi unsurların çocukların mekân deneyimleme biçimini zenginleştirdiği görülmüştür. Bu unsurların çocukların fiziksel aktivite düzeylerini artırdığı, yaratıcılık ve keşif duygusunu desteklediği ve doğayla kurulan bağı güçlendirdiği belirlenmiştir. Buna karşın geleneksel oyun alanlarının çoğunlukla yapay malzemelerden oluştuğu ve sınırlı mekânsal çeşitlilik sunduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, biyofilik tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarlanan oyun alanlarının çocuklarda yaratıcılık, problem çözme becerileri ve sosyal etkileşimi artırdığını; aynı zamanda stres düzeyini azaltarak dikkat ve odaklanma kapasitesini geliştirdiğini göstermektedir. Çalışma sonucunda, peyzaj mimarlığı ve kentsel tasarım disiplinlerine yönelik biyofilik tasarım temelli oyun alanı planlama ve tasarım önerileri geliştirilmiştir. Bu öneriler, çocukların doğayla doğrudan etkileşim kurabileceği, sağlıklı ve sürdürülebilir oyun ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Biyofilik tasarım, biyofilik oyun alanları, oyun alanları

INTRODUCTION

The intense urbanization, technological dependence, and increased time spent indoors brought about by modern life are weakening children's relationship with nature. The inability of children to interact with the natural environment from an early age can lead to various physical and psychological problems such as attention deficit, hyperactivity, stress, obesity, and learning difficulties. Therefore, the biophilic design approach is considered an important design strategy that enables children to reconnect with nature in the built environments where they live and spend time. Biophilic design aims to enable children to interact with nature directly or indirectly by integrating natural elements such as natural light, vegetation, water features, natural materials, and organic forms into spaces. Research shows that children's presence in environments enriched with natural elements supports their cognitive development, increases their attention span, and encourages their physical activity. In this context, the application of biophilic design principles in playgrounds and educational spaces designed for children strengthens their perception of nature and makes significant contributions to their healthy developmental processes (Kunnath, Gupta 2024).

The rapidly increasing urbanization of our time, the intense dependence on digital tools, and the long hours spent in enclosed spaces are progressively weakening the deep-rooted connection children have with the natural world. Children who grow up disconnected from their natural environment from a young age show a significant increase in many developmental problems such as difficulty concentrating, hyperactivity, anxiety, weight problems, and academic learning difficulties. Aware of this situation, the design world is adopting the biophilic approach as an effective way to reintroduce nature into built environments designed for children (Ünal, Özen 2021). Today, the rapid growth of cities and the intensification of construction are making

free and green spaces where children can connect with nature less and less accessible. This development leads to a decrease in children's daily physical activity, the transformation of inactivity into a lifestyle, and as a natural consequence, an increase in the frequency of health problems such as weight problems, anxiety disorders, and difficulty concentrating (Russo, Andreucci 2023). At this point, the biophilic design approach stands out as an effective approach that prioritizes establishing a deep and meaningful relationship with nature in the design of play environments for children. This design approach facilitates children's direct and indirect connection with nature through spatial solutions that offer opportunities for contact with living ecosystems, green spaces, the use of daylight, water elements, and raw, unprocessed materials. Scientific studies show that children who develop in close contact with natural environments follow a significantly healthier course in terms of mental growth, attention span, and mental balance. In addition, the environmental contributions of green open spaces, such as improving air quality, balancing urban heat, and encouraging physical activity, positively contribute to the healthy and balanced development of children (Russo, Andreucci 2023). Biophilic design is an approach that aims to strengthen the natural connection that people have with nature through spatial design. Visual and physical connections established with natural light, vegetation, natural materials, and green spaces in educational and play areas increase children's physical activity levels, reduce their stress levels, and support their cognitive development. It is also stated that children who interact with nature strengthen their social relationships and that their general health and well-being are positively affected (Huizi et al. 2024). For all these reasons, the reflection of biophilic principles in children's playgrounds represents a design approach whose value is increasingly better understood; on the one hand, it strengthens the physical and mental health of children, and on the other hand, it contributes to the shaping of long-term and inclusive urban living spaces (Russo, Andreucci 2023).

This approach aims to make the maximum use of sunlight, green vegetation, flowing or still water elements, the use of raw materials such as wood and stone, and organic forms inspired by nature integral parts of the spaces. Thus, children are in constant contact with nature, directly or indirectly. Scientific studies also reveal the concrete gains of this approach: children who spend time in spaces interwoven with natural elements strengthen their mental functions, improve their ability to concentrate on one point, and increase their physical activity (Ünal, Özen 2021). In light of this data, designing play and learning environments specific to children within the framework of biophilic principles goes beyond being merely an aesthetic preference; it constitutes a functional necessity for healthy, balanced, and holistic child development (Ünal, Özen 2021).

Research aim

This study aims to reveal the effects of integrating biophilic design principles into children's playgrounds on their physical, cognitive, and emotional development. In today's world, where urbanization is accelerating and opportunities for contact with nature are decreasing, identifying design strategies that will enable children to reconnect with nature through built environments is of great importance. Accordingly, the study aims to evaluate the contributions of natural materials, vegetation, water elements, different ground textures, and natural light to children's spatial experience by comparatively examining playgrounds with biophilic design features and traditional playgrounds.

Furthermore, supporting the positive effects of these elements on children's physical activity levels, creativity and exploration drive, social interaction, stress management, and attention and focus skills with concrete findings is among the main objectives of the study. Based on the

findings, the ultimate goal of the study is to develop biophilic-based playground planning and design proposals for landscape architecture and urban design disciplines; thus contributing to the creation of healthy, inclusive, and sustainable play environments where children can directly interact with nature

Biophilic Design Criteria for Playgrounds

Biophilic playgrounds are living spaces designed to allow children to establish a direct and meaningful relationship with nature. Unlike traditional playgrounds, these areas create a rich and multi-layered experiential environment for children by combining natural vegetation, water features, raw materials such as wood and stone, and varying topographical features. These spaces, which stimulate all the senses through shade-providing trees, the cooling sounds of water, and inviting surfaces, contribute to children's development not only physically but also mentally and emotionally. Thanks to open corners and free play zones, children define their own boundaries, experience risk perception, and freely use their imaginations. Furthermore, these environments, where ecosystem dynamics can be observed, provide a unique foundation for the blossoming of ecological awareness at an early age. When all these criteria are considered together, biophilic playground design transcends being merely a matter of planning and transforms into a holistic approach that enables children to reconnect with nature.

- Use of natural vegetation
- Presence of water elements
- Use of natural materials (wood, stone, etc.)
- Topographic diversity
- Natural shade and microclimate
- Sensory experience (touch, smell, sound)
- Areas for exploration and free play
- Opportunities for ecological learning

Method

In this study, playgrounds determined within the framework of biophilic design principles were systematically examined using a comparative case analysis method. Throughout the research process, biophilic design criteria, comprehensively defined in the relevant literature, were adopted as the primary reference framework; a holistic evaluation approach was developed under the headings of natural material use, plant presence and diversity, spatial integration of water elements, topographical and spatial diversity, and multisensory experience opportunities. These parameters were not only considered at the physical level but also their contribution to user experience and the overall biophilic quality of the space was taken into account. This multi-dimensional analysis framework played a crucial role in revealing the similarities and differences between the selected case areas and in objectively evaluating their strengths and weaknesses.

Findings

This study examines the relationship between biophilic design and children's playgrounds through implemented design examples. Accordingly, children's playground designs from different countries were evaluated, and the use of natural elements (vegetation, water features,

natural materials, and topography) within the spatial design was analyzed. The study revealed that biophilic design principles enhance children's interaction with nature, enrich their play experience, and provide spatial opportunities that support their physical and cognitive development.

HortPark Nature Playgarden – Singapore: Considered a pioneer among biophilic playgrounds in Singapore, HortPark Nature Playgarden opened in March 2019 and has inspired nature playgrounds across the island. Designed using natural materials, instead of conventional slides, seesaws, or climbing structures, play activities are skillfully blended with nature, creating many hidden corners for children to explore (URL-1).



Figure 1. HortPark Nature Playgarden – Singapur

Forest Ramble – Jurong Lake Gardens, Singapur: Forest Ramble, the largest nature playground in the interior with its 2.3-hectare area, is designed with features that allow children to imitate the movements of animals living in freshwater marsh forests. It features 13 different adventure stations, each with its own unique characteristics, where children can glide through the air like a grey heron, leap like a squirrel, or play in the water like an otter (URL-2).



Figure 2. Forest Ramble – Jurong Lake Gardens, Singapur

YMCA Living Playground – Atlanta, ABD: In this play area, natural light filters into the sandpit through leaf and butterfly-shaped cutouts in the ceiling, green vines cover the tunnel walls, and live flowers create green roofs. The wood used in the play structures comes from trees native to the Georgia mountains (URL-3).



Figure 3. YMCA Living Playground – Atlanta, ABD

Diana Memorial Playground-Londra, İngiltere: Located within Kensington Gardens, this playground is designed with natural materials and nature-based play elements. The area includes wooden play structures, sand areas, and plant landscaping, aiming to develop children's imagination and exploratory behavior (URL-4).



Figure 4. Diana Memorial Playground-Londra, İngiltere

Table 1 presents a comparative evaluation of the biophilic playgrounds examined in terms of their fundamental design elements. The findings show that vegetation, water features, and the use of natural materials stand out as a common design approach in all three playgrounds. In the examples of HortPark Nature Playgarden and Forest Ramble, topographical diversity is also an important component of the design, supporting children's exploration, climbing, and movement experiences. In Diana Memorial Playground, although topographical diversity is more limited, plant elements, natural materials, and design elements providing sensory experiences are strongly utilized. This demonstrates that biophilic design principles can be applied within different spatial configurations and that various design strategies can be developed to enhance children's interaction with nature.

Table 1. Biyofilik çocuk oyun alanları matrisi

Park	Plant	Water	Natural material	Topography	Sensory Experience
HortPark	✓	✓	✓	✓	✓
Forest Ramble	✓	✓	✓	✓	✓
Diana Playground	✓	✓	✓	–	✓

Biophilic Playground Design Model

The biophilic playground design model represents a multi-layered approach that positions nature-based elements not merely as an aesthetic choice, but as a fundamental design component supporting children's physical, cognitive, and social development. The model is structured around three interconnected components: natural elements, spatial experience, and developmental outcomes.

The natural elements component encompasses the integration of vegetation, water features, natural topography, and raw materials such as wood and stone into the space; thus, aiming to enable children to have direct contact with nature and strengthen the ecological character of the area. The spatial experience component prepares the ground for children to experience the space actively and creatively through exploration areas, varying ground textures, and topographical diversity. When evaluated in terms of developmental outcomes, it is seen that biophilic environments significantly contribute to the development of higher-level skills such as problem-solving, social interaction, and environmental awareness, in addition to increasing physical activity.

This model provides a conceptual framework that enables the systematic application of biophilic principles for landscape architecture and urban design disciplines, and guides the design of sustainable play spaces where children can establish stronger connections with nature. A three-layered model has been proposed within this scope:

- Layer 1 – Natural Elements: Plants, Water, Natural materials,
- Layer 2 – Spatial Experience: Topography, Free movement, Exploration areas
- Layer 3 – Development Outcomes: Physical development, Social interaction, Creativity

Conclusion

This research aimed to comparatively evaluate the effects of incorporating biophilic design principles into children's playgrounds on their physical, cognitive, and emotional development, using national and international examples of best practices. The examples examined reveal that playgrounds that utilize elements such as natural materials, plant elements, water features, different ground textures, and natural light enrich and multifacet children's experience with the space compared to traditional playgrounds. Examples such as HortPark Nature Playgarden and Forest Ramble in Singapore demonstrate that nature-integrated play environments support

children's desire to explore, mobility, and imagination. Similarly, the YMCA Living Playground in Atlanta and the Diana Memorial Playground in London are significant examples demonstrating the successful application of biophilic design elements in diverse climatic and urban conditions. The findings of the research show that playgrounds created with a biophilic design approach strengthen children's attention and focus skills, reduce stress levels, improve creativity and problem-solving abilities, and increase their social interaction. In addition, it is considered that children's early contact with natural elements contributes to the development of environmental awareness and strengthens the bond with nature.

Today, many traditional playgrounds consist largely of artificial materials and offer limited spatial diversity. This reduces children's opportunities to interact directly with nature and can make the play experience monotonous. In contrast, playgrounds created with a biophilic design approach provide a higher quality play environment by offering children sensorially rich spaces that allow for exploration and include elements of natural ecosystems.

From a landscape architecture and urban design perspective, it is important to incorporate biophilic design principles into playground planning and design processes with a holistic approach. In this context, the use of local plant species, the integration of water elements and natural topography into the design, the preference for natural materials such as wood and stone, and the effective use of daylight should be among the basic design principles. Furthermore, developing inclusive and flexible spatial arrangements that meet the needs of different age groups is also an important design requirement. In conclusion, children's playgrounds designed with a biophilic design approach not only offer aesthetically pleasing spaces but also stand out as an important design strategy that supports children's healthy, holistic, and sustainable development processes. In today's world, where contact with nature is decreasing due to increasing urbanization pressures, adopting biophilic principles in outdoor space designs for children is of great importance both for individual development and for healthy and sustainable urban life.

REFERENCES

Kunnath, A. R. E., & Gupta, J. (2024). A Review of biophilic design at Kuttikattoor school for the children. In E3S Web of Conferences (Vol. 546, p. 01002). EDP Sciences.

Ünal, N., & Özen, E. S. (2021). Biophilic approach to design for children. *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, 9(2), 943-965.

Russo, A., & Andreucci, M. B. (2023). Raising healthy children: promoting the multiple benefits of green open spaces through biophilic design. *Sustainability*, 15(3), 1982.

Huizi, D., Sulaiman, R., & Ismail, M. A. (2024). Enhancing children's health and well-being through biophilic design in Chinese kindergartens: A systematic literature review. *Social Sciences & Humanities Open*, 10, 100939.

URL-1. <https://www.cheekiemonkie.net/2021/03/nature-playgardens-singapore-parks.html>

URL-2. <https://juronglakegardens.nparks.gov.sg/forest-ramble/>

URL-3. <https://trimtab.living-future.org/biophilic-design/the-power-of-play/>

URL-4.<https://www.royalparks.org.uk/visit/parks/kensington-gardens/diana-memorial-playground>

ALOE VERA’NIN FARMAKOLOJİK ETKİLERİ VE HASTA BAKIMINDA KULLANIMINA GENEL BİR BAKIŞ

Mehtap KAVURMACI¹

¹ Atatürk University Faculty of Nursing, Department of Internal Medicine Nursing Erzurum
Türkiye

mehtap.kavurmaci@atauni.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7062-4845

Yakup DİLBİLİR²

²Bitlis Eren University, Faculty of Health Sciences, Department of Nursing Bitlis Türkiye

ydilbilir@beu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6874-5998

ÖZET

Amaç: Bu derleme, Aloe vera'nın biyolojik ve farmakolojik özelliklerini inceleyerek, güncel literatür ışığında hemşirelik bakımındaki kullanım alanlarını, etkinliğini ve güvenli uygulama kriterlerini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır.

Kapsam: Aloe vera, bünyesinde barındırdığı antrakınonlar, polisakkaritler ve vitaminler gibi biyoaktif bileşenler sayesinde antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve yara iyileşmesini destekleyici etkiler sergilemektedir. Yapılan çalışmalar; bitkinin bası yaralarının önlenmesinde, birinci ve ikinci derece yanıkların iyileşme süresinin kısaltılmasında ve kanser tedavisine bağlı gelişen oral mukozit semptomlarının hafifletilmesinde etkili bir tamamlayıcı seçenek olduğunu göstermektedir. Ancak cerrahi yaraların sekonder iyileştiği durumlarda iyileşmeyi geciktirebileceği ve topikal kullanımda kontakt dermatit gibi yan etkilere yol açabileceği bildirilmektedir.

Sonuç ve Öneriler: Aloe vera, hasta bakımında maliyet etkin ve non-farmakolojik bir seçenek sunmakla birlikte, klinik uygulamalarda standardizasyonun sağlanması için kanıta dayalı protokollere ihtiyaç duyulmaktadır. Hemşirelerin, uygulama öncesinde yara tipini multidisipliner bir yaklaşımla değerlendirmeleri, hastaları olası alerjik reaksiyonlar açısından izlemeleri ve toplumda yaygın olan kontrolsüz bitkisel ürün kullanımına karşı hastalara rehberlik etmeleri önerilmektedir.

Anahtar sözcükler: Hasta bakımı, Aloe Vera, Tamamlayıcı Tedavi

1. GİRİŞ

Aloe vera çok yıllık, sukulent özellik gösteren ve sıcak kurak iklimlere adapte olmuş bir bitkidir. Genellikle 60–100 cm'ye kadar boylanabilen bu tür kalın, etli ve su depolayabilen yapraklara sahiptir. Yaprakların kenarlarında küçük dikenimsi çıkıntılar bulunur ve yaprak dokusu jel benzeri bir iç kısım ile karakterizedir (Heş et al., 2019; Salehi et al., 2018). Bitki olgunlaştığında uzun bir çiçek sapı oluşturur ve bu sap üzerinde sarıdan turuncuya değişen tonlarda çiçekler gelişir (Heş et al., 2019). Aloe vera, botanik özellikleri ve içerdiği biyoaktif bileşenler nedeniyle hem fitoterapi hem de klinik uygulamalarda sıklıkla araştırılan bir türdür (Radha & Laxmipriya, 2015; Salehi et al., 2018).

2. ALOE VERA'NIN FARMAKOLOJİK ETKİLERİ

2.1. Antiinflamatuvar etki

Aloe vera'nın antiinflamatuvar etkilerinin; siklooksijenaz (COX) yolunun modülasyonu, prostaglandin aracılı yanıtların azaltılması ve proinflamatuvar sitokinlerin düzenlenmesi gibi birden fazla biyolojik süreç üzerinden ortaya çıktığı bildirilmektedir (Sánchez et al., 2020; Salehi et al., 2018). Bu etkilerde rol oynadığı belirtilen başlıca bileşen grupları antrakinonlar, kromon türevleri ve polisakkaritler olup, bu bileşenlerin antiinflamatuvar immün modülatör etkilerinin farklı basamaklarda katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır (Sánchez et al., 2020; Salehi et al., 2018). Özellikle aloin ve aloe emodin gibi antrakinon türevlerinin deneysel çalışmalarda COX-2 ile ilişkili inflamatuvar yanıtı baskılayabildiği ve prostaglandin aracılı süreçleri azaltabildiği rapor edilmiştir (Sánchez et al., 2020). Ayrıca aloe bileşenlerinin genel düzeyde antiinflamatuvar özellik taşıdığı ve bu etkinin farklı biyolojik mekanizmalarla açıklanabileceği literatürde ifade edilmektedir (Heş et al., 2019).

2.2. Antimikrobiyal etki

Aloe vera'nın antimikrobiyal etkisinin mekanizması tüm ayrıntılarıyla açıklığa kavuşmamış olmakla birlikte, etkinliğin bitkideki çok sayıda biyoaktif bileşenin birlikte ve olası etkileşimiyle ortaya çıktığı bildirilmektedir (Sánchez et al., 2020; Salehi et al., 2018). Antimikrobiyal etkinliğin, Aloe vera'nın jel hali ile yaprak kısmında bulunan bileşenlere atfedildiği; etkinin bazı mikroorganizmalara karşı doğrudan inhibisyon şeklinde gerçekleşebildiği belirtilmektedir (Sánchez et al., 2020; Salehi et al., 2018). Ayrıca Aloe vera'nın bazı bileşenlerinin (özellikle polisakkarit fraksiyonunun) immün modülatör yanıtları destekleyerek konak savunmasını dolaylı yoldan etkileyebileceği, bu nedenle antimikrobiyal etkinliğin yalnızca doğrudan patojene etkiden ibaret olmayabileceği vurgulanmaktadır. (Sánchez et al., 2020; Radha & Laxmipriya, 2015).

2.3. Yara iyileştirici etki

Aloe vera jelinin yara iyileşmesini destekleyici etkisinin, birden fazla biyoaktif bileşenin birlikte katkısıyla ortaya çıktığı ve özellikle jel fraksiyonundaki bazı bileşenlerin iyileşme dinamikleriyle ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bu bağlamda Aloe vera jelinde bulunduğu belirtilen mannose-6-phosphate'ın, yara iyileşmesinde özellikle kontraksiyon ve kollajen sentezi gibi süreçlerle ilişkilendirildiği; ayrıca Aloe polisakkaritlerinin fibroblast proliferasyonunu ve ekstrasellüler matriks yeniden yapılanmasına katkı sağlayabilecek biyokimyasal yanıtları destekleyebileceği ifade edilmektedir (Radha & Laxmipriya, 2015). Aloe vera jelinin başlıca polisakkaritlerinden acemannanın ise literatürde yara iyileşmesini hızlandırıcı özellikleriyle öne çıktığı; bunun kısmen immün yanıtların modülasyonu gibi

mekanizmalar üzerinden dolaylı etkilerle açıklanabildiği bildirilmektedir (Sierra-García et al., 2014). Genel olarak aloe uygulamasının dıştan kullanımlarda hasarlı derinin rejenerasyonunu hızlandırabildiğine dair bulgular da rapor edilmiştir (Heş et al., 2019).

2.4.Antioksidan etki

Aloe vera jeli, antioksidan özelliklerle ilişkilendirilen çeşitli bileşenler içermektedir. Sistemik derleme bulgularında Aloe vera'nın α -tokoferol (E vitamini), karotenoidler, askorbik asit (C vitamini), flavonoidler ve tanenler gibi antioksidanları barındırdığı belirtilmektedir (Radha & Laxmipriya, 2015). Ayrıca Aloe türlerinin fitokimyasal içeriği içinde C vitamini (askorbik asit) ve E vitamini (α -tokoferol) ile birlikte bazı B vitaminleri (B1, B2, B6, B12) raporlanmış; bunun yanında aloesin, aloeresin A, aloesone ve aloe-emodin gibi bileşenlerin de Aloe'nin biyoaktif profili içinde yer aldığı gösterilmiştir (Salehi et al., 2018; Sánchez et al., 2020). Antioksidan etki kapsamında, bazı Aloe bileşenlerinin serbest radikal/oksidatif süreçlerle ilişkili mekanizmalarda yer alabileceği ve özellikle SOD (superoxide dismutase) aktivitesinde artış ile ilişkilendirilebileceği ifade edilmektedir (Salehi et al., 2018).

3. HASTA BAKIMINDA ALOE VERA KULLANIMI

3.1.Bası Yaraları (Dekubitus) Yönetimi

Bası yaralarının önlenmesi, hasta bakım kalitesinin önemli göstergelerinden biridir ve bu süreçte cildin nem dengesinin korunması ile ısı nem yönetimi temel yaklaşımlar arasında yer alır. Aloe vera jeli, içerdiği polisakkarit mukopolisakkarit benzeri bileşenlerin cilt bütünlüğünü destekleyebileceği ve nemi korumaya yardımcı olabileceği bildirilen bitkisel bir ajandır (Tunçay & Kaya, 2021). Ortopedi servisinde yatan hastalarda yürütülen çalışmada, rutin bası yarası önleme uygulamalarına ek olarak sakrum, topuk ve kalça gibi riskli bölgelere Aloe vera jel uygulanmasının; ciltte ısı artışı, kalıcı kızarıklık, şişlik ve ağrı gibi erken bulguları azalttığı ve bası yarası gelişim sıklığını düşürdüğü raporlanmıştır (Hekmatpou et al., 2018). Bu bulgular, Aloe vera'nın bası yarası önlenmesinde "tamamlayıcı" bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceğini düşündürmekle birlikte, genel yara ve deri lezyonlarına yönelik klinik sonuçların farklı yara tiplerine göre olumlu yönde değişebileceğini göstermektedir (Hekmatpou et al., 2019).

3.2.Diyabetik Ayak Bakımı: Nemlendirme ve Enfeksiyon Kontrolü

Diyabetik ayak yarası gelişen bireylerde cilt bütünlüğünün bozulması, çatlaklar ve basit travmalar nedeniyle enfeksiyon gelişimi açısından önemli bir risk oluşturur. Bu nedenle hastalar, standart tedaviye ek olarak yara bakımı sürecini desteklemek amacıyla geleneksel ve tamamlayıcı tıp (GTT) uygulamalarına da sıklıkla tercih etmektedir. Literatürde diyabetik ayakta GTT kullanımının yaygın olduğu, hastaların bu süreçte bitkisel ürünleri ve doğal içerikli uygulamaları tercih edebildiği bildirilmektedir (Uran & Ayhan, 2023; Gümüş & Özkavak, t.y. 2022). Ayrıca Tip 2 diyabetes mellitus tanılı bireylerde de tamamlayıcı tedavi kullanma davranışının görüldüğü ve bitkisel ürünlerin öne çıktığı belirtilmiştir (Alkan et al., 2024). Bu bağlamda Aloe vera, diyabetik ayak bakımında hastalar tarafından tercih edilen doğal ürünler arasında yer almakta; hastalar Aloe vera'yı çoğunlukla cildin nemlendirilmesi, çatlakların azaltılması ve yaranın "daha hızlı toparlanması" gibi beklentilerle kullanmaktadır (Uran & Ayhan, 2023; Gümüş & Özkavak, t.y. 2022). Ancak mevcut çalışmaların önemli bir kısmı, Aloe vera ve benzeri ürünlerin kullanım sıklığı ve tercih nedenlerini ortaya koymakta olup, diyabetik ayak ülserlerinde etkinlik ve güvenliğe ilişkin kesin yargılar için daha fazla kontrollü klinik araştırmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmalıdır (Uran & Ayhan, 2023; Gümüş & Özkavak, t.y. 2022).

3.3.Yanık Yönetimi

Özellikle birinci ve ikinci derece (yüzeyel/parsiyel kalınlık) yanıklarda Aloe vera jel, hasta bakımında tamamlayıcı bir seçenek olarak; cildin nem dengesini destekleme, yüzeysel irritasyonu azaltma ve iyileşme sürecini hızlandırma amacıyla tercih edilebilmektedir (Sançar ve ark., 2017; Teplicki ve ark., 2018). Randomize kontrollü çalışmaları bir araya getiren güncel bir meta-analizde Aloe vera uygulamasının, diğer topikal ajanlara kıyasla yanık iyileşme süresini ortalama 3–4 gün kısalttığı bildirilmiştir (Huang ve ark., 2024). Bu bulgu, özellikle yüzeyel ikinci derece yanıklarda epitelizasyonun hızlanabileceğini destekler. Klinik düzeyde, ikinci derece yanıklarda Aloe vera krem/jel ile gümüş sülfadiazin karşılaştırılan randomize bir çalışmada da Aloe vera'nın iyileşme üzerine olumlu etkileri raporlanmıştır (Khorasani ve ark., 2009). Benzer biçimde, yüzeyel ikinci derece yanıklarda Aloe vera jel ile nitrofurazon %2 karşılaştırılan çalışmada Aloe vera grubunda epitelizasyon ve granülasyon dokusu oluşumunun daha erken gerçekleştiği gösterilmiştir; mekanizma olarak jelin hidrokolloid/nemlendirici ve antiinflamatuvar özelliklerinin rol oynayabileceği vurgulanmıştır (Irani & Varaie, 2016).

3.4.Oral Mukozit Yönetimi ve Hemşirelik Yaklaşımları

Kanser tedavisi gören hastalarda kemoterapi ve radyoterapiye bağlı gelişen oral mukozit, beslenme yetersizliği ve enfeksiyon riskini artıran, hastanın yaşam kalitesini ciddi oranda düşüren bir komplikasyondur (Tiryaki ve ark., 2024). Günümüzde oral mukozit gelişimini önlemede evrensel olarak kabul edilmiş standart bir protokol bulunmamasına rağmen, Aloe vera jeli ve gargaralarının kullanımı tamamlayıcı bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Yapılan sistematik derlemeler, Aloe vera müdahalelerinin mukozit şiddetini azaltmada ve semptomları önlemede fayda sağladığını göstermektedir (Geresinli & Akyol, 2024).

Hemşirelik bakımında bu uygulamaların etkinliği, kanıt değeri yüksek çalışmalarla desteklenmekle birlikte; uygulamanın yöntemi (jel veya gargara), kullanım sıklığı ve dozajı konusunda henüz standardize edilmiş bir rehber bulunmamaktadır. Hemşireler için bu noktadaki en kritik sorumluluk, özellikle kemoterapötik ajanlarla olası ilaç etkileşimlerini gözlemlemek ve topikal uygulamaların (yutulması veya tükürülmesi gibi) güvenliğini takip etmektir. Kanıt temelli çalışma sonuçları doğrultusunda, Aloe vera'nın klinik oral bakım rehberlerine entegre edilmesi, hasta bakımında non-farmakolojik ve maliyet etkin bir seçenek sunabilir (Geresinli & Akyol, 2024; Tiryaki ve ark., 2024).

4. HASTA BAKIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

4.1.Yan Etkiler ve Alerjik Reaksiyonlar

Aloe vera ürünleri genellikle iyi tolere edilse de yan etkiler açısından tamamen risksiz değildir (Lee ve ark., 2003). Topikal aloe jel kullanımında zaman zaman yanma, kaşıntı, döküntü ve egzama benzeri reaksiyonlar bildirilmiştir (National Center for Complementary and Integrative Health [NCCIH], 2025). Ayrıca olgu bildirimlerinde Aloe vera ile ilişkili hipersensitivite reaksiyonları ve kontakt dermatit tanımlanmıştır; bildirilen reaksiyonların bir kısmının jel ürünlerindeki antrakınon kontaminantlarıyla ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Guo & Mei, 2016). Oral kullanımda ise özellikle aloe lateks içeren ürünler karın ağrısı, kramplar ve diyareye yol açabilir (National Center for Biotechnology Information [NCBI], t.y.). Bu nedenle uygulama öncesi bireysel riskler değerlendirilmeli ve uygulama alanı olası irritasyon bulguları açısından izlenmelidir (Lee ve ark., 2003; NCCIH, 2025).

4.2.Güvenli Kullanım ve Uygulama Önerileri

Aloe vera kullanımını tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmeli ve standart tıbbi yara bakımının yerini almamalıdır (Dat ve ark., 2012). Cerrahi yaraların sekonder iyileştiği bazı durumlarda Aloe vera uygulamasının iyileşmeyi geciktirebildiği bildirilmiş olduğundan, özellikle açık/derin veya komplikasyon riski taşıyan yaralarda klinisyen önerisi olmadan kullanım konusunda dikkatli olunmalıdır (Dat ve ark., 2012). Ayrıca kullanılan ürünün kalitesi ve formülasyon özellikleri (pH gibi) topikal uygulamanın güvenliğini etkileyebileceğinden, mümkün olduğunca standardize ürün tercih edilmesi ve uygulama alanının düzenli izlenmesi önemlidir (Jain ve ark., 2021). Bası yaraları gibi spesifik alanlarda etkinliği gösterilmiş olsa da her klinik vaka bireysel bazda değerlendirilmelidir (Hekmatpou ve ark., 2018)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aloe vera, sahip olduğu zengin biyoaktif bileşen profili sayesinde antiinflamatuvar, antimikrobiyal, antioksidan ve yara iyileşmesini hızlandırıcı etkileriyle klinik uygulamalarda önemli bir potansiyele sahiptir. İncelenen literatür verileri; bitkinin bası yaralarının önlenmesinde, yanık iyileşme süresinin kısaltılmasında ve kanser tedavisine bağlı gelişen oral mukozit semptomlarının hafifletilmesinde tamamlayıcı bir seçenek olarak etkinliğini ortaya koymaktadır. Özellikle hemşirelik bakımında, invaziv olmayan ve maliyet etkin bir yöntem sunması bakımından Aloe vera uygulamaları, kanıta dayalı bakımın bir parçası olma niteliği taşımaktadır.

Bununla birlikte, topikal uygulamalarda nadir de olsa görülebilen alerjik reaksiyonlar ve cerrahi yaraların iyileşmesini geciktirebilme riski, uygulamanın profesyonel bir denetim altında yapılması önem arz etmektedir. Ürün kalitesindeki standardizasyon eksikliği ve uygulama dozajı konusundaki belirsizlikler, klinik rehberlerde kesin bir protokol oluşturulmasını zorlaştıran temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda gelecekteki çalışmalar ve klinik uygulamalar için; Aloe vera uygulamalarının yöntemi, sıklığı ve dozu konusunda hemşireler için rehber teşkil edecek standardize edilmiş bakım protokolleri geliştirilmeli, topikal uygulama yapılan hastalar özellikle antrakinon kontaminasyonuna bağlı gelişebilecek kontakt dermatit veya hipersensitivite reaksiyonları açısından düzenli olarak takip edilmeli ve derin veya komplikasyon riski taşıyan cerrahi yaralarda iyileşmenin gecikmemesi adına uygulama öncesinde mutlaka multidisipliner bir değerlendirme yapılmalıdır. Ayrıca, diyabetik ayak bakımı gibi alanlarda hastaların bitkisel ürünleri kontrolsüz kullanmalarını önlemek amacıyla hemşireler tarafından kanıta dayalı danışmanlık verilmeli ve Aloe vera'nın farklı klinik tablolar üzerindeki etkinliğini ve güvenliğini kesinleştirmek amacıyla daha fazla sayıda randomize kontrollü çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Heř, M., Dziedzic, K., Górecka, D., Jędrusek-Golińska, A., & Gujska, E. (2019). *Aloe vera* (L.) Webb.: Natural sources of antioxidants—A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 255–265. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00747-5>
2. Salehi, B., Albayrak, S., Antolak, H., Kręgiel, D., Pawlikowska, E., Sharifi-Rad, M., Upreti, Y., Tsouh Fokou, P. V., Yousef, Z., Amiruddin Zakaria, Z., Varoni, E. M., Sharifi-Rad, J., Arserim-Uçar, D. K., Taraszkievicz, A., & Martorell, M. (2018). *Aloe genus plants: From farm to food applications and phytopharmacotherapy. International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2843. <https://doi.org/10.3390/ijms19092843>
3. Sánchez, M., González-Burgos, E., Iglesias, I., & Gómez-Serranillos, M. P. (2020). Pharmacological update properties of *Aloe vera* and its major active constituents. *Molecules*, 25(6), 1324. <https://doi.org/10.3390/molecules25061324>
4. Radha, M. H., & Laxmipriya, N. P. (2015). Evaluation of biological properties and clinical effectiveness of *Aloe vera*: A systematic review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 5(1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.10.006>
5. Sierra-García, G. D., Castro-Ríos, R., González-Horta, A., Lara-Arias, J., & Chávez-Montes, A. (2014). Acemannan, an extracted polysaccharide from *Aloe vera*: A literature review. *Natural product communications*, 9(8), 1934578X1400900836.
6. Hekmatpou, D., Mehrabi, F., Rahzani, K., & Aminiyan, A. (2018). The effect of *Aloe vera* gel on prevention of pressure ulcers in patients hospitalized in the orthopedic wards: A randomized triple-blind clinical trial. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18, Article 264. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2326-2>
7. Hekmatpou, D., Mehrabi, F., Rahzani, K., & Aminiyan, A. (2019). The effect of *Aloe vera* clinical trials on prevention and healing of skin wound: A systematic review. *Iranian Journal of Medical Sciences*, 44(1), 1–9. <https://doi.org/10.30476/ijms.2019.40612>
8. Tunçay, H. A., & Kaya, G. İ. (2021). *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Sarisabır) bitkisinin fitoterapide kullanımı. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 45(3), 674–698. <https://doi.org/10.33483/jfpau.834326>
9. Uran, B. N. Ö., & Ayhan, A. (2023). Diyabetik Ayakta Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamalarının Kullanımı: Literatürün Gözden Geçirilmesi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8(1), 167-175.
10. GÜMÜŞ, D., & ÖZKAVAK, S. B. (2022). Investigation of The Usage of Traditional and Complementary Medicine by Patients With Diabetic Foot Wounds Diyabetik Ayak Yarası Gelişen Hastaların Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamalarını Kullanma Durumlarının İncelenmesi.
11. TEDAVİSİDE, Y. İ. V. D. Y., & BİTKİLER, K. T. SAĞLIK BİLİMLERİ DERGİSİ JOURNAL OF HEALTH SCIENCES. *Cep*, 534(246), 54-92.
12. Alkan, B., Emre, N., Gökcüoğlu, S., Özşahin, A., & Edirne, T. (2024). Tip2 diyabetes mellitus tanılı hastaların geleneksel ve tamamlayıcı tedavi kullanma durumunun değerlendirilmesi. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 14(3), 579-586.
13. Sançar, B., Canbulat, Ş., & İlhan, S. E. (2017). Yara bakımında kullanılan bitkisel yöntemler ve hemşirelik. *Türkiye Klinikleri Internal Medicine Nursing-Special Topics*, 3(2), 116-124.
14. Teplicki, E., Ma, Q., Castillo, D. E., Zarei, M., Hustad, A. P., Chen, J., & Li, J. (2018). The effects of *aloe vera* on wound healing in cell proliferation, migration, and viability. *Wounds: a compendium of clinical research and practice*, 30(9), 263-268.

15. Huang, Y. N., Chen, K. C., Wang, J. H., & Lin, Y. K. (2024). Effects of aloe vera on burn injuries: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Burn Care & Research*, 45(6), 1536-1545.
16. Khorasani, G., Hosseini-mehr, S. J., Azadbakht, M., Zamani, A., & Mahdavi, M. R. (2009). Aloe versus silver sulfadiazine creams for second-degree burns: a randomized controlled study. *Surgery today*, 39(7), 587-591.
17. Irani, P. S., & Varaie, S. (2016). Comparison of the effect of Aloe vera Gel and Nitrofurazone 2% on epithelialization and granulation tissue formation regarding superficial second-degree burns. *Iranian journal of medical sciences*, 41(3 Suppl), S3.
18. Geresinli, D., & Akyol, A. (2024). Oral Mukoziti Önlemede Aloe Vera Kullanımı: Sistemik Derleme. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 40(2), 251-260.
19. Tiryaki, E., Akay, G., Kadiroğlu, T., & Tüfekçi, F. G. (2024). KANSER TEDAVİSİ GÖREN ÇOCUKLARIN ORAL MUKOZİT YÖNETİMİNDE HEMŞİRELİK BAKIM UYGULAMALARI: SİSTEMATİK BİR DERLEME. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 33(2), 279-283.
20. Lee, K. R., Yoo, S. D., & Lee, B. M. (2003). Pharmacological and Adverse Effects of Aloe vera. In *Proceedings of the PSK Conference* (pp. 149-1). The Pharmaceutical Society of Korea.
21. Guo, X., & Mei, N. (2016). Aloe vera: A review of toxicity and adverse clinical effects. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 34(2), 77-96.
22. National Center for Complementary and Integrative Health. (2025, February). *Aloe vera: Usefulness and safety*. <https://www.nccih.nih.gov/health/aloe-vera>
23. National Center for Biotechnology Information. (n.d.). *Evaluation of the nutritional and metabolic effects of Aloe vera* (Herbal medicine: Biomolecular and clinical aspects, 2nd ed.). In *NCBI Bookshelf*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK92765>
24. Jain P, Taleuzzaman M, Kala C, Kumar Gupta D, Ali A, Aslam M. Quality by design (Qbd) assisted development of phytosomal gel of aloe vera extract for topical delivery. *J Liposome Res*. 2021 Dec;31(4):381-388. doi: 10.1080/08982104.2020.1849279. Epub 2020 Nov 19. PMID: 33183121.
25. Dat, AD, Poon, F., Pham, KB ve Doust, J. (2012). Akut ve kronik yaraların tedavisinde aloe vera. *Cochrane sistematik incelemeler veritabanı* , (2).

KRONİK BÖBREK YETMEZLİĞİ KAYNAKLI ÖDEM VE HEMŞİRELİK BAKIMI

Mehtap KAVURMACI¹

¹ Atatürk University Faculty of Nursing, Department of Internal Medicine Nursing
Erzurum Türkiye

mehtap.kavurmaci@atauni.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7062-4845

Yakup DİLBİLİR²

²Bitlis Eren University, Faculty of Health Sciences, Department of Nursing Bitlis Türkiye

ydilbilir@beu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6874-5998

ÖZET

Kronik böbrek yetmezliğine bağlı gelişen semptomlar içerisinde en önemlilerinden biri ödemdir. Ödem hücre içinde ve dışında gelişebilmektedir. Vücut için daha tehlikeli ve zararlı olan ödem çeşidi hücre dışı ödemdir. Hücre dışı ödeme neden olan hastalıkları tanımlamak ve ona göre yaklaşımda bulunmak gerektir. Hücre dışı ödeme neden olan hastalıklardan biri de böbrek fonksiyonunun bozulmasından kaynaklanan hastalıklardır. Ödemin patofizyolojisinin iyi anlaşılması ve tedavi sürecinde hastaya verilen eğitimle birlikte hastanın da tedavisine katılmasının sağlanması daha etkili korunma ve kurtulma sağlayabilecektir.

Anahtar sözcükler: Hemşirelik; kronik böbrek yetmezliği; ödem

1. GİRİŞ

Dünyada artmaya devam eden sağlık problemlerinin içerisinde kronik böbrek hastalığı (KBH) gelmektedir. 2010 yılında dünya genelinde 2,62 milyon kişi diyalize girmiştir ve 2030 yılına kadar diyaliz ihtiyacının iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (Luyckx VA. Ve ark. 2018).

Renal replasman tedavileri içerisinde, ülkemize ve dünyada en çok tercih edileni hemodiyaliz tedavisidir. Ülkemizde hemodiyaliz ile ilgili güvenilir veriler Türk Nefroloji Derneğinin ve Sağlık Bakanlığının ortak yayınladığı raporlarda mevcuttur. Ortak yayınlanan 2023 verilerine göre ülkemizde 2022 yılının sonu itibarıyla 61.723 hasta hemodiyaliz tedavisi almaktadır (Ateş, K. Ve ark. 2023).

Hemodiyalize giren hastaların böbrek fonksiyonlarındaki bozukluklar nedeniyle idrar çıkışı olmamaktadır ve buna bağlı olarak ödem oluşmaktadır. Ödemi olan hastalarda ödemin farklı sistemlere dağılması riskinden dolayı sıvı ve tuz kısıtlamasına dikkat edilmelidir. Bazı böbrek hastalarında azda olsa idrar çıkışı olmaktadır fakat iyon yoğunluğu az olan bir idrar olduğu için bu hastalarda ödem gelişme ihtimali yine yüksektir (Atan, 2019; Karadakovan & Eti Arslan 2022). Yaşam kalitelerinin yükselmesi ve ödemi en aza indirmek için diyaliz hastalarının günlük 1000 ml den fazla sıvı tüketmemeleri gerekir. Başka bir hesaplama biçimiyle diyaliz hastalarının günlük alması gereken sıvı miktarı kuru ağırlıklarının yüzde üçü kadar olmalıdır (Acar, 2018; Karadakovan & Eti Arslan 2022). Sıvı kontrolünün sağlanmasına yönelik yapılacak en etkili yöntem tuz kısıtlamasının sağlanması olacaktır. Daha az tuz tüketimi daha az sıvı tüketimini belirtmektedir. Aynı zamanda tuz yoğunluğu fazla olan gıdalar (turşu, konserve v.b.) da tüketilmemelidir. Bu gıdaların tüketilmesi hastada susuzluk hissini arttıracak ve bunun neticesinde aşırı su tüketimiyle ödem gelişecektir (Şentürk, 2021; Karadakovan & Eti Arslan 2022).

2. ÖDEM TANIMI

İnterstisyel sıvıda artma ile karakterize doku şişliği ödem olarak tanımlanır. Temelde hücre dışında sıvı birikmesiyle ödem oluşmaktadır fakat hücre içinde de sıvı birikmesiyle oluşan ödem

çeşidi de vardır. Bu durumu hücreiçi ve hücre dışı ödem olarak ikiye ayırıyoruz (Hall. 2020. Oğuz ve ark. 2023).

2.1. Hücreiçi Ödem

Hücreiçi ödeme esasta 3 nedenle oluşur. Bunların birincisi hiponatremi ikincisi dokularda oluşan metabolik işleyişin baskılanması ve üçüncüsü ise hücrelerin yetersiz beslenmesidir. Örneğin, hücreye doğru olan kan akımı azaldığında, besinlerin ve oksijeninde hücreye ulaşımı azalmış olur. Yetersiz beslenen bir hücrenin iyon pompaları baskılanır ve normalde hücre dışına çıkması gereken sodyum hücre içinde kalır ve hücrenin su alarak şişmesine neden olur. Böylece hücre içi ödem gelişir.

Doku İnflamasyonu da aynı zamanda hücreiçi ödeme neden olan bir etkidir. Hücre zarı geçirgenliğinin artmasına neden olur ve bununla birlikte sodyumun hücre içine girişi kolaylaşarak hücre içi ödem gelişir (Hall. 2020. Oğuz ve ark. 2023).

2.2. Hücre dışı Ödem

Hücre dışı ödemde interstisyel alanda sıvı birikmesiyle karakterizedir. İki nedenden kaynaklanmaktadır. Bunlardan birincisi kapiller damarlar aracılığıyla plazmadan hücreler arası boşluğa sıvı geçişi ve ikincisi de lenfatik sistemin sıvıyı tekrar dolaşıma ulaştıramamasıdır ki bu durum lenfödem olarak ta tanımlanmaktadır (Hall. 2020. Oğuz ve ark. 2023).

2.3. Hücre dışı Ödeme Neden Olan Faktörler

Hücre dışı ödeme çeşitli hastalıklar ve fizyolojik durumlar neden olmaktadır. Aşağıda belirtilen durumlar hücre içi ödemin nedenleri arasında sayılabilmektedir;

1- Kapiller basınçta artma ile oluşan ödemdir. Kapiller basınçta artma ile böbreklerde aşırı su ve tuz tutulması gerçekleşir ki kronik böbrek yetmezliğinde bu durum görülür, venöz basıncın artması ve venöz daralmada da ödem gelişir ki bu duruma da kalp yetersizliği ve venöz tıkanıklıklar örnek gösterilebilir, arteriyel direncin azalması da ödeme neden olan bir diğer etkidir.

- 2- Plazma proteinlerinin azalması da hücre dışı ödem nedenleri arasındadır. Plazma proteinlerinin azalmasına sebep, nefrotik sendromla görülen proteinüri, yanıklar, yaralanmalar, karaciğer hastalıklarıyla görülen protein yapımı yetersizliği olmaktadır.
- 3- Kapiller damarların permeabilitesi de hücre dışı ödeme neden olan bir diğer faktördür ki buda; bakteriye enfeksiyonlar, yanıklar, zehirlenmeler, C vitamini gibi bazı önemli vitaminlerin eksikliği ve iskemi gibi durumlarda görülmektedir.
- 4- Hücre dışı ödeme neden olan durumlardan sonuncusu da; bazı kanserler, cerrahi operasyonlar, enfeksiyonlar ve lenf damarlarındaki bir anormallik nedeniyle lenf akımının tıkanmasıdır (Hall. 2020. Oğuz ve ark. 2023).

2.4. Böbreklerden Kaynaklanan Ödem

Burada böbreklerdeki herhangi bir anormallik nedeniyle tuzun ve suyun yetersiz atılımı ve böbreklerde tutulmasıyla kaynaklı bir ödem vardır. Bozulmuş böbrek fonksiyonları kanda sodyum klorür (NaCl) ve su birikmesine neden olur ve buradan da hücreler arasına geçerler. Bu durumun sonuçları arasında hücreler arası sıvının artışı (hücre dışı ödem) ve kan hacmindeki artışla birlikte hipertansiyon görülür. Bu duruma glomerüllerde meydana gelen enfeksiyonlar örnek gösterilebilir. Oluşan akut glomerülonefrit ile birlikte yeterli miktarda sıvı filtrasyona uğrayamaz ve ödem ile birlikte hipertansiyon görülür (Hall. 2020).

3. ÖDEMDE HEMŞİRELİK BAKIMI

Ödem ile ilgili hemşirelik girişimlerinde öncelik, ödemin esas etkilediği organ olan deri bakımı olmalıdır. Vücut içine girmesiyle enfeksiyona neden olabilecek patojen mikroorganizmalardan vücudumuzu deri korumaktadır. Deri bütünlüğü ödem ve kuruluk ile bozulabilmektedir.

Kuruluk ile bütünlüğü bozulmuş bir deride çatlaklar ve fissürler oluşur. Vücutta ödem de varsa deri kıvrımları ve çatlaklar daha fazla derinleşir ve oluşan bu çatlaklardan patojen mikroorganizmalar kolaylıkla girebilirler. Ödem ile birlikte bozulmuş deri bütünlüğünden kaynaklı enfeksiyon risklerini ortadan kaldırmak için hemşire derinin doğal nem oranı dengesini iyi ayarlamakla birlikte deri hijyenini de sağlayacak olan bakımı vermelidir. (Oğuz ve ark. 2023; Fife et al., 2017; Watkins, 2014).

Bu bağlamda ödemli hastaların deri bakımında hemşirelerin dikkat etmesi gereken hususlar;

- Her gün düzenli bir şekilde ödemli deri takibi yapılmalı,
- Ödem olan bölge kuru ve temiz tutularak izlenmeli,
- Ödemli deri basınç yaralanmasına karşı korunmalı,
- Ödem oluşan bölgedeki deri olası yırtılma ve sürtünmelere karşı korunmalı,
- Oluşacak herhangi bir değişim kayıt altına alınıp hekime haber verilmeli,
- Deri kuruluşunu önlemek için ödem oluşan bölge günlük nemlendirilmeli,
- Parfüm içermeyen nemlendiricilerin kullanılmasına dikkat edilmeli,
- Kullanılacak sabunun deri pH'ına yakın içerikte pH içermesine dikkat edilmeli,
- Ödemli derinin olduğu bölgedeki katlantıların kuruluşu ve hijyenine dikkat edilmeli,
- Yatan hastanın her 2 saate bir defa pozisyonu değiştirilmesine özen gösterilmeli,
- Hastanın kullandığı çarşaflar hijyenik ve gergin tutulmalı,
- Hastaya pamuklu kıyafetler giymesi tavsiye edilmeli ve ödemli bölgeye baskı oluşturmamasından kaçınması anlatılmalı,
- Olası deri yaralanmasından kaçınılması gerektiği hastaya bildirilmeli,
- Ödemli bölgenin ısı değişimi izlenmeli ve aşırı ısı değişimlerinden kaçınılmalı,
- Güneş ışınlarının direk teması ödemli bölgeye zarar vereceğinden dolayı temastan korunmalı,
- Hastayı travmalara karşı bilinçlendirmeli,
- Ödemli bölge eğer kolda ise, yüzük saat bilezik gibi dolaşıma engel olacak takılar takılmaması yönünde uyarıda bulunulmalı,
- Dolaşıma engel olacak durumlardan (tansiyon ölçülmesi, invaziv girişimler, bandaj sargı, kan alma) kaçınılmalıdır (Oğuz ve ark. 2023; Turna, 2020; Pugh, 2019).

Deri bakımının yanısıra hemşire günlük olarak ödemli hastanın bazı durumlarını izlemeli ve kayıt altına almalıdır. Bunlar;

- Günlük ödemin gode derecesi değerlendirilmeli, ödemin sıklıkla belirlendiği bölgeler (tibia üzeri, ayak bileği ve sakrum gibi) kontrol edilmeli,
- İlaç yan etkileri oluşması ihtimaliyle diüretik kullanan hastaların günlük takibi yapılmalı ve gerekirse dozu tekrardan ayarlanmalıdır,
- Ödemli hastanın aldığı ve çıkardı takibi günlük olarak yapılmalıdır,
- Hastanın günlük kilo takibini yapıp kayıt altına almalıdır. Kilo takibi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar; sabah aç karnına olması, aynı kıyafetlerin giyilmiş olması ve aynı terazinin olmasıdır,
- Düzenli olarak nabız ve kan basıncı takibi yapılmalıdır,
- Akciğer sesleri günlük dinlenerek anormallikler kayıt edilmeli ve gerekirse müdahale edilmelidir,
- Diüretiklerin sebep olacağı hipotansiyon, denge bozukluğu durumları ve baş dönmesi şikayetleri düzenli olarak kontrol edilmeli,
- Hastada oluşabilecek dehidratasyon gözlemlenerek kontrol altına alınmalıdır (Oğuz ve ark. 2023; Ayvaz & Enç, 2018).

4. ÖDEMLİ HASTALARDA HASTA EĞİTİMİ

Devamlı kullanılan diüretikler hastalarda hiponatremi, hipokalemi gibi elektrolit bozukluklarına neden olabilmektedir. Bu hastalarda yorgunluk, halsizlik, anksiyete, mide bağırsak sorunları ve oryantasyonda sorunlar meydana gelecektir. Ödemi olan hastalara aşağıda maddeler halinde sıralanan bazı konularda eğitimler faydalı olacaktır;

- Özellikle kullanılan diüretik ilaçlar başta olmak üzere ilaç yan etkileri konusunda hasta bilgilendirilir,
- Hastaya hazırlanacak diyetle sodyum kısıtlamasına gidilmesinin ve bunun neticesinde diüretik ilaçların etkinliğinin de artacağı bildirilir,
- Diüretik etkinliği doz düşürülmesinin de yolunu açacaktır. Bununla birlikte doz düşüklüğü daha a yan etkiye maruz kalma anlamına geldiği hastaya anlatılır,

- Diüretik kullanımı bazen hiperglisemiye neden olmaktadır. Bu nedenle diüretik kullanan hastalarda aynı zamanda diyabet varsa antidiyabetik ilaç kullanımında daha dikkatli olmasının gerektiğini, kan şekeri ölçümünü düzenli yapması ve ihtiyaç olursa antidiyabetik dozunu arttırması gerektiği hastaya bildirilmelidir.
- Diüretik kullanımı bazen güneşe karşı hassasiyete sebep olmakta, bu yüzden gün içerisinde hasta güneşe maruziyeti uzun süreli olaksa koruyucu kıyafetler ve güneş kremi kullanması yönünde hasta bilgilendirilmelidir.
- Eğer hasta hergün diüretik kullanacaksa, ilaçlarını gece uyku problemlerine sebep olmasını engellemek amacıyla gündüz erken saatlerde alması tavsiye edilmelidir.
- Ödem ile mücadelede yapılması gereken bazı egzersizlerin önemi hastaya bildirilmeli ve günlük egzersiz yapmaya teşvik edilmelidir,
- Hangi egzersizlerin yapılacağı hastaya ve ailesine anlatılmalıdır (Oğuz ve ark. 2023; Turna, 2020; Temur & Kapucu, 2018).

5. SONUÇ

Hücreler arası boşlukta fazla miktarda sıvının birikmesi ödem olarak tanımlanmaktadır. Ödem bir hastalık değil hastalığın semptomudur. Bu yüzden altta yatan hastalığın tanısı ve tedavisi ödemin ortadan kaldırılmasında önemlidir. Böbrek fonksiyonlarının bozulmasıyla birlikte akut ve kronik böbrek yetmezlikleri gelişebilir. Kronik böbrek yetmezliğinin en önemli semptomlarından birisi de vücutta genel veya bazı bölgelerde ödem görülmesidir. Ödemin tanılmasında hasta öyküsü ve fizik muayene ile birlikte tedavi süreci de başlamaktadır. Tedavide diüretikler ile birlikte su ve sodyum kısıtlaması ve egzersiz gibi nonfarmakolojik yöntemlerin etkinliği önemlidir. Kronik böbrek yetmezliği ile alakalı gelişen ödemde ilk tercih edilen tedavi renal replasman tedavileri olmakla birlikte hasta eğitimi, hastalara özel diyet ve sıvı kısıtlaması da etkili yöntemler arasındadır.

KAYNAKÇA

1. Acar, D. (2018). Kronik Böbrek Yetmezliği Olan Hastalarda Tedaviye Uyumla İlişkili Faktörler: Anksiyete, Depresyon, Hastalık Algısı. Aydın: Aydın Adnan Menderes 84 Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İç hastalıkları Hemşireliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans tezi.
2. Atan, D. R. (2019). Hemodiyaliz Hastalarında Gastrointestinal Semptomların Beslenme Durumu ve Biyokimyasal Parametreler ile İlişkisi. Tekirdağ: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
3. Şentürk, Z. (2021). Hemodiyaliz Hastalarında Sıvı Kontrolü ve Konfor Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Aydın: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İç Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, (Yüksek Lisans Tezi)
4. Hall, J. E., & Hall, M. E. (2020). *Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book*. Elsevier Health Sciences.
5. Luyckx VA, Tonelli M, Stanifer JW. The global burden of kidney disease and the sustainable development goals. *Bulletin of the World Health Organization*, 2018, 96: 414.
6. Ateş K, Seyahi N, Koçyiğit İ. TC Sağlık Bakanlığı ve Türk Nefroloji Derneği Ortak Raporu. 2022; 204. 2023. https://nefroloji.org.tr/uploads/pdf/REGISTRY2022_web.pdf
7. Karadakovan A, Eti Arslan F. *Dahili ve Cerrahi Hastalıklarda Bakım*. 6. Baskı. İstanbul, Akademisyen Kitabevi, 2022
8. Oğuz S. ve ark. *Semptom Yönetimi ve Hemşirelik*. 1. Baskı. İstanbul, İstanbul Kitabevi, 2023.
9. Ayvaz, M. Y., & Enç, N. (2018). Kalp Yetersizliğinde Ödem. *Turk J Cardiovasc Nurs*, 9(19), 69-75.
10. Temur, K., & Kapucu, S. (2019). The effectiveness of lymphedema self-management in the prevention of breast cancer-related lymphedema and quality of life: A randomized controlled trial. *European Journal of Oncology Nursing*, 40, 22-35.
11. Pugh, S. (2019). Importance of a collaborative approach to lymphoedema management. *British Journal of Community Nursing*, 24(Sup4), S30-S31.

12. Watkins, J. (2014). Dry skin: a common but treatable condition. *Nursing and Inpatient Care*, 16 (9), 508-511.
13. Fife, C. E., Farrow, W., Hebert, A. A., Armer, N. C., Stewart, B. R., Cormier, J. N., & Armer, J. M. (2017). Skin and wound care in lymphedema patients: a taxonomy, primer, and literature review. *Advances in skin & wound care*, 30(7), 305-318.
14. Turna, I. F. (2020). Lenfödem Tanı ve Tedavisine Güncel Bakış. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, (1), 14-22.

THE ROLE OF NURSING CARE AFTER ACUTE KIDNEY INJURY: DIAGNOSIS, MONITORING, AND RENAL RECOVERY

Dr. Öğr. Üy. Zehra Aydın

ORCID:0000-0003-1968-6113

E-Posta: zehraydin@gmail.com

Tf: 0 544 714 19 11

İstanbul Atlas Üniversitesi, İstanbul/Türkiye

Abstract

Background: Acute kidney injury (AKI) is a common and serious complication among hospitalized and critically ill patients and is associated with high morbidity and mortality. Increasing evidence indicates that renal recovery after AKI is often incomplete, and many patients develop persistent kidney dysfunction. The concept of acute kidney disease (AKD) describes kidney dysfunction that persists between 7 and 90 days following an episode of AKI which renal recovery or progression may occur.

Objective: This review aims to examine nursing care strategies following AKI, focusing on nursing assessment, clinical monitoring, evidence-based interventions, patient education, and continuity of care that support renal recovery.

Methods: A narrative literature review was conducted using current clinical guidelines and recent studies addressing AKI recovery and nursing management. Key aspects of nursing practice, including renal function monitoring, fluid and electrolyte management, infection prevention, renal replacement therapy support, and transitional care, were analyzed.

Results: Effective nursing assessment and continuous monitoring are essential for early detection of deterioration and prevention of complications after AKI. Nursing interventions focusing on fluid balance, electrolyte control, infection prevention, and hemodynamic stability contribute significantly to maintaining physiological stability. During the post-AKI recovery period (AKD phase), structured follow-up, medication safety, and patient education are critical to support renal recovery and prevent recurrent kidney injury.

Conclusion: Nurses play a pivotal role in the management of patients after AKI. Integrating systematic clinical monitoring, evidence-based nursing interventions, patient education, and coordinated transitional care can enhance renal recovery and reduce the risk of chronic kidney disease progression.

Keywords: Acute kidney injury, Acute kidney disease, Nursing care, Renal recovery, Patient education, Transitional care

Akut Böbrek Hasarı Sonrası Hemşirelik Bakımının Rolü: Tanı, İzlem ve Böbrek İyileşmesi

Öz

Giriş: Akut böbrek hasarı (ABH), hastanede yatan ve özellikle yoğun bakım hastalarında sık görülen, yüksek morbidite ve mortalite ile ilişkili önemli bir klinik durumdur. Son yıllarda yapılan çalışmalar, ABH sonrası böbrek fonksiyonlarının çoğu hastada tam olarak düzelmediğini ve kalıcı böbrek fonksiyon bozukluğunun gelişebileceğini göstermektedir. Akut Böbrek Yetmezliği (ABY) kavramı, ABH sonrası 7–90 gün arasında devam eden böbrek fonksiyon bozukluğunu tanımlamakta ve ABH ile kronik böbrek hastalığı arasındaki geçiş dönemini ifade etmektedir.

Amaç: Bu derlemenin amacı, ABH sonrası dönemde hemşirelik bakımının temel bileşenlerini incelemek ve böbrek iyileşmesini destekleyen hemşirelik değerlendirmeleri, girişimleri, hasta eğitimi ve bakım sürekliliğinin önemini ortaya koymaktır.

Yöntem: Bu çalışmada ABH sonrası iyileşme süreci ve hemşirelik bakımına ilişkin güncel klinik kılavuzlar ve araştırmalar incelenerek anlatımsal bir literatür derlemesi yapılmıştır. Hemşirelik uygulamalarında böbrek fonksiyonlarının izlenmesi, sıvı-elektrolit yönetimi, enfeksiyon kontrolü, renal replasman tedavilerinin izlenmesi ve taburculuk sonrası bakım süreçleri değerlendirilmiştir.

Bulgular: Etkin hemşirelik değerlendirmesi ve sürekli klinik izlem, ABH sonrası komplikasyonların erken tanınmasında ve fizyolojik dengenin korunmasında kritik rol oynamaktadır. Sıvı dengesi, elektrolit kontrolü, enfeksiyonun önlenmesi ve hemodinamik stabilitenin sağlanmasına yönelik hemşirelik girişimleri hasta sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir. ABH sonrası iyileşme döneminde (ABHa evresi) yapılandırılmış izlem, ilaç güvenliği ve hasta eğitimi böbrek fonksiyonlarının iyileşmesini desteklemekte ve tekrarlayan böbrek hasarı riskini azaltmaktadır.

Sonuç: Hemşireler, ABH sonrası bakımın yönetiminde temel bir role sahiptir. Sistemik klinik izlem, kanıta dayalı hemşirelik girişimleri, hasta eğitimi ve bakım sürekliliğinin sağlanması böbrek iyileşmesini destekleyerek kronik böbrek hastalığı gelişme riskini azaltabilir.

Anahtar Kelimeler: Akut böbrek hasarı, Akut böbrek hastalığı, Hemşirelik bakımı, Böbrek iyileşmesi, Hasta eğitimi, Bakım sürekliliği

INTEGRATED NURSING CARE IN COPD AND HEART FAILURE: A CARDIOPULMONARY APPROACH

Dr. Öğr. Üy. Zehra Aydın

ORCID:0000-0003-1968-6113

E-Posta: zehraydin@gmail.com

Tf: 0 544 714 19 11

İstanbul Atlas Üniversitesi, İstanbul/Türkiye

Abstract

Background: Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and heart failure (HF) frequently coexist and share common risk factors such as smoking, systemic inflammation, and aging. The bidirectional interaction between pulmonary and cardiovascular dysfunction significantly increases morbidity, mortality, and hospitalization rates. Managing these conditions concurrently presents important clinical challenges and requires coordinated, patient-centered nursing care.

This review aims to synthesize current evidence on the cardiopulmonary interaction between COPD and heart failure and to highlight integrated nursing care strategies that support early recognition, symptom management, and multidisciplinary coordination.

Methods: A narrative review of recent literature and clinical guidelines related to COPD–HF comorbidity was conducted. The review examines epidemiological associations, shared pathophysiological mechanisms, and clinical challenges in assessment and differential diagnosis, with a particular focus on nursing roles in integrated care.

Results: Patients with concurrent COPD and heart disease commonly experience overlapping symptoms such as dyspnea, fatigue, and reduced exercise tolerance, which complicate clinical assessment and management. Evidence indicates that nurse-led interventions—including comprehensive assessment, monitoring of medication safety and fluid balance, structured patient education, and early detection of decompensation—can reduce avoidable hospitalizations and improve functional outcomes and quality of life.

Conclusion: Nurses play a central role in the integrated management of COPD and heart disease through comprehensive assessment, coordinated care, and patient empowerment. An integrated cardiopulmonary nursing approach is essential to improve clinical outcomes and support long-term disease management in this complex patient population.

Keywords: COPD, Heart Failure, Cardiopulmonary Comorbidity, Integrated Nursing Care, Self-Management, Cardiorespiratory Nursing

**KOAH ve Kalp Yetmezliği Birlikteliğinde Entegre Hemşirelik Bakımı:
Kardiyopulmoner Yaklaşım**

Öz

Arka Plan: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve kalp yetmezliği (KY) sıklıkla birlikte görülmekte ve sigara kullanımı, sistemik inflamasyon ve yaşlanma gibi ortak risk faktörlerini paylaşmaktadır. Pulmoner ve kardiyovasküler disfonksiyon arasındaki iki yönlü etkileşim morbiditeyi, mortaliteyi ve hastaneye yatış oranlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu hastalıkların birlikte yönetimi klinik açıdan karmaşık olup, hasta merkezli ve koordineli bir hemşirelik bakım yaklaşımını gerektirmektedir.

Bu derlemenin amacı, KOAH ve kalp yetmezliği arasındaki kardiyopulmoner etkileşime ilişkin güncel kanıtları sentezlemek ve çift hastalık yönetiminde entegre hemşirelik bakım stratejilerini ortaya koymaktır.

Yöntem: KOAH ve kalp yetmezliği birlikteliğine ilişkin güncel literatür ve klinik kılavuzlar incelenerek anlatımsal bir derleme yapılmıştır. Derleme, epidemiyolojik ilişkileri, ortak patofizyolojik mekanizmaları ve klinik değerlendirme ile ayırıcı tanı süreçlerinde karşılaşılan zorlukları ele almakta; özellikle entegre bakım sürecinde hemşirelik rollerine odaklanmaktadır.

Bulgular: KOAH ve kalp hastalığı birlikteliği olan hastalarda dispne, yorgunluk ve egzersiz intoleransı gibi örtüşen semptomlar sıklıkla görülmekte ve bu durum klinik değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Kanıtlar, hemşire liderliğinde yürütülen kapsamlı değerlendirme, ilaç güvenliği ve sıvı dengesi izlemi, yapılandırılmış hasta eğitimi ve dekompanseasyonun erken tanınmasına yönelik girişimlerin yeniden hastaneye yatışları azaltabileceğini ve fonksiyonel kapasite ile yaşam kalitesini iyileştirebileceğini göstermektedir.

Sonuç: Hemşireler, KOAH ve kalp hastalığı birlikteliğinin yönetiminde kapsamlı değerlendirme, bakım koordinasyonu ve hasta güçlendirme yoluyla merkezi bir rol üstlenmektedir. Entegre kardiyopulmoner hemşirelik yaklaşımı, bu karmaşık hasta grubunda klinik sonuçların iyileştirilmesi ve uzun dönem hastalık yönetiminin desteklenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: KOAH, Kalp Yetmezliği, Kardiyopulmoner Komorbidite, Entegre Hemşirelik Bakımı, Öz-Yönetim, Kardiyorespiratuvar Hemşirelik

SAVAŞTA KADIN ÜREME SAĞLIĞI

Doktor Öğretim Üyesi Nurdilan ŞENER ÇETİN

Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Doğum, Kadın Sağlığı ve Hastalıkları ABD

nsener@firat.edu.tr-0000-0002-7096-4660

ÖZET

Siyasi nedenler, sosyal gerilimler, ekonomik kaynakların paylaşımı, güç dengesi mücadeleleri ve ideolojik farklılıklar gibi çeşitli faktörler nedeniyle ortaya çıkabilen savaş, tarihin en eski dönemlerinden bu yana insanlık tarihinin bir parçası olmuştur. Savaş, toplumların siyasal ve sosyal yapısını derinden etkileyerek önemli değişimlere yol açmaktadır. Bununla birlikte bireylerin ekonomik koşullarını, fiziksel ve ruhsal sağlıklarını, yaşam kalitelerini ve sağlık hizmetlerine erişimlerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Savaşın bu çok boyutlu etkilerinden toplumun kırılgan grupları arasında yer alan kadınlar ve kız çocukları daha fazla etkilenmektedir. Özellikle savaş ortamı, kadınlar ve kız çocukları için önlenemez sağlık risklerini önemli ölçüde artırmakta ve başta üreme sağlığı hizmetleri olmak üzere temel sağlık hizmetlerine erişimi güçleştirmektedir. Kadınlar savaş ve kriz ortamlarında; yetersiz beslenme, yoksulluk ve temiz suya erişim eksikliği gibi yapısal sorunların yanı sıra cinsel şiddet ve toplumsal cinsiyete dayalı eşitsizliklerle de karşı karşıya kalmaktadır. Bununla birlikte aile planlaması ve temel sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlanması, istenmeyen gebeliklerin ve güvenli olmayan kürtajların artmasına yol açmakta; gebelik izlemleri, güvenli kürtaj hizmetleri, jinekolojik kanserlerin tanı ve tedavisi ile HIV tedavisine erişimde önemli aksamalara neden olmaktadır. Ayrıca ped gibi kişisel ihtiyaçlara ulaşım zorlaşmaktadır. Yaşanan sağlık problemlerinin savaş sona erdikten ve ateşkes sağlandıktan sonrada devam ettiği görülmüştür. Savaş veya kriz durumlarında kadınların yaşadıkları bu problemle başa çıkılabilmesi için Krizde Üreme Sağlığı için Kurumlararası Çalışma Grubu (Inter-Agency Working Group on Reproductive Health in Crises) tarafından Cinsel ve Üreme Sağlığı için Asgari Başlangıç Hizmet Paketi (Minimum Initial Service Package-MISP). Geliştirilen bu hizmet bir acil durumun başlangıcında (ilk 48 saat) içinde asgari ve hayat kurtarıcı cinsel ve üreme sağlığı hizmetlerini tanımlayan bir müdahale paketidir. Türkiye’de Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu (UNFPA) ve ilgili kuruluşlar tarafından MISP eğitimi düzenlenmiş ancak bu hizmet henüz yaygınlaşmamış ve kullanılmamıştır. Bu bağlamda, savaş durumlarında kadınların cinsel ve üreme sağlığını korumaya yönelik geliştirilen müdahale paketi eğitiminin sağlık personelleri arasında yaygınlaştırılması ve entegre edilmesi ve sağlık profesyonellerinin bu hizmetleri uygulayabilecek bilgi ve beceriyle desteklenmesi kadınların üreme sağlığına ilişkin yaşadıkları risklerin azaltılması için büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler : Savaş; kadın; üreme sağlığı.

WOMEN'S REPRODUCTIVE HEALTH IN WAR

ABSTRACT

War, which can arise due to various factors such as political reasons, social tensions, distribution of economic resources, power struggles, and ideological differences, has been a part of human history since the earliest periods. War deeply affects the political and social structure of societies, leading to significant transformations. Furthermore, it adversely impacts individuals' economic conditions, physical and mental health, quality of life, and access to healthcare services. Among the vulnerable groups of society, women and girls are more severely affected by these multidimensional impacts of war. Especially in conflict environments, preventable health risks for women and girls increase significantly, making it difficult to access essential healthcare services, particularly reproductive health services. In war and crisis situations, women face structural problems such as malnutrition, poverty, and lack of access to clean water, as well as sexual violence and gender-based inequalities. Moreover, restricted access to family planning and basic health services leads to an increase in unintended pregnancies and unsafe abortions; it also causes significant disruptions in access to prenatal care, safe abortion services, diagnosis and treatment of gynecological cancers, and HIV treatment. Additionally, accessing personal hygiene products, such as menstrual pads, becomes challenging. It has been observed that the health problems experienced continue even after the war ends and a ceasefire is established. To address these problems faced by women in war or crisis situations, the Minimum Initial Service Package (MISP) for Sexual and Reproductive Health was developed by the Inter-Agency Working Group (IAWG) on Reproductive Health in Crises. This service is an intervention package that defines the minimum and life-saving sexual and reproductive health services to be implemented at the onset of an emergency (within the first 48 hours). In Turkey, MISP training has been organized by the United Nations Population Fund (UNFPA) and related organizations; however, this service has not yet become widespread or fully utilized. In this context, disseminating and integrating the training of this intervention package—developed to protect women's sexual and reproductive health in war situations—among health personnel, and supporting health professionals with the knowledge and skills to implement these services, is of great importance in reducing the risks women face regarding reproductive health.

Keywords: War; women; reproductive health.

1. GİRİŞ

Savaş, yaklaşık 6000 yıllık geçmişi olan ve zaman içinde yöntemleri, uygulamaları ve etkileri bakımından değişim gösteren kapsamlı ve dinamik bir olgudur (Yakıt Ak, 2018). Savaş, toplumların sosyal, ekonomik ve sağlık yapısını derinden sarsan, geniş çapta insan hakları ihlallerine yol açan ve özellikle savunmasız gruplar üzerinde yıkıcı etkiler oluştururken, sağlık durumu iyi olan bireylerde belirgin düşüşler yaşanmasına, zaten sağlık sorunları olan bireylerde ise iyileşme olasılığının düşmesine yol açmakta ve bu etkiler tüm sosyoekonomik gruplarda aynı şekilde görülmemektedir (Aydemir & Ünal, 2025; Pillai, Wang, & Maleku, 2017). Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri'nin 2025 yılı “Kadın, Barış ve Güvenlik” raporu, günümüzde 676 milyon kadının ölümcül çatışma bölgelerine 50 kilometre mesafede yaşadığını

ve bunun 1990'lerden bu yana kaydedilen en yüksek seviye olduğunu ortaya koymaktadır (Birleşmiş Milletler Kadın Birimi [UN Women], 2025)

Küresel sağlık alanındaki çalışmalar, savaş ve savaş sonrası dönemlerde kadın ve kız çocuklarının sağlığını etkileyen en önemli faktörlerden birinin sağlık altyapısındaki bozulma olduğunu göstermektedir. Organize şiddet ortamlarında sağlık sistemlerinin zarar görmesi veya hizmet kapasitesinin azalması, anne ölümleri riskini artırmakta ve kadınlar ile kız çocuklarının üreme ve anne sağlığı hizmetlerine erişimini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Bunun yanı sıra yetersiz beslenme, yoksulluk, temiz suya erişim eksikliği gibi yapısal sorunlar ile cinsel şiddet, toplumsal cinsiyete dayalı eşitsizlikler ve diğer insan hakları ihlalleri de kadın sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca aile planlaması ve sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlanması, istenmeyen gebeliklerin ve güvenli olmayan kürtajların artmasına yol açmaktadır (Hedström & Herder, 2023; Tulumtaş & Şimşek, 2024). Gebelik, güvenli kürtaj, jinekolojik kanseri tedavisi, HIV tedavisine erişimle ilgili kaygıların ortaya çıktığı belirtilmiştir. Diğer bir kırılgan gruptan olan LGBTQI bireylerde yaşamları, güvenlikleri, sağlıkları ve cinsel ve üreme sağlıkları açısından özel tehlikelerle karşı karşıya kalabilirler (Kismödi & Pitchforth, 2022). Yaşanan bu problemlerim savaş bittikten ve ateşkes sağlandıktan sonra bile uzun süre devam edebildiği hatta bazen ömür boyu etkilerini sürdürebileceği belirtilmiştir (Tulumtaş & Şimşek, 2024). Bu metin, savaş ortamlarında kadınların yaşadığı üreme sağlığı problemlerini, bu sorunlara yönelik geliştirilen müdahale stratejilerini ve sağlık profesyonellerinin bu süreçteki kritik rolünü ele almayı amaçlamaktadır.

2. SAVAŞIN KADIN ÜREME SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Çatışma ve yerinden edilme, kadınlar ve çocukları cinsel şiddet, erken evlilik, taciz, izolasyon ve sömürüye karşı savunmasız bırakmaktadır. Cinsel ve cinsiyete dayalı şiddet, tecavüzden kaynaklanan yaralanmalar, HIV, üreme sağlığı sorunları ve sosyal izolasyon dahil olmak üzere hem fiziksel hem de ruhsal sağlık üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Çatışma ortamları doğurganlığı demografik değişiklikler (evliliklerin azalması, eşlerin ayrılması) ve biyolojik etkiler nedeniyle azaltabilir; öte yandan modern kontraseptiflere erişimin azalması ve cinsel şiddetin artması istenmeyen gebelik ve düşükleri artırabilir (Bendavid ve ark., 2021).

Cinsel Şiddet ve İstismar: Şiddet, fiziksel güç veya iktidarın kasıtlı bir tehdit ya da fiil olarak bir başkasına uygulanması sonucunda maruz kalan kişide yaralanma, ölüm, psikolojik zarar veya gelişim bozukluğu oluşturması ya da oluşturma olasılığına yol açarken, cinsel şiddet ise bireysel ve toplu tecavüz, hamileliğe ve fahişeliğe zorlama, cinsel köleleştirme, kısır bırakma, tecavüzle düşüğe sebep olma veya hastalık bulaştırma gibi şekillerde gerçekleştirilmektedir (Bayır-Aslan & Güngör, 2020). Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri'nin 2025 "Kadın, Barış ve Güvenlik" raporu, kadın ve çocuklar arasında savaşa bağlı sivil kayıpların önceki iki yıllık döneme göre dört kat arttığını ve çatışmayla bağlantılı cinsel şiddetin iki yıl içinde %87 oranında yükseldiğini ortaya koymaktadır (Birleşmiş Milletler Kadın Birimi [UN Women], 2025). Savaşta kadınlara yönelik cinsel şiddetin genellikle sivil erkekler, askerler, isyancılar, güvenlik güçleri, resmi görevliler ve hatta sivil toplum kuruluşları çalışanları tarafından gerçekleştirildiği belirtilmiştir (Yakıt Ak, 2018). Savaş ortamında yaşanan cinsel şiddet/tecavüz sonrası kontrasepsiyon ve güvenli küretajın sağlanamadığı ve cinsel yolla bulaşan enfeksiyonların hızla yayıldığı belirtilmiştir (Yakıt Ak, 2018). Örneğin Ruanda soykırımında

birçok kadın tecavüze uğramış sonrasında gebe kalmıştır. Gebelik sonucu doğan çocuklara istenmeyen çocuklar veya nefret çocukları denilmiştir. Birçok kadının istenmeyen çocuklar veya nefret çocuklarını gizlice doğurduğu ve sonradan çocuğu öldürdüğü varsayılmaktadır (Karo & Paksoy, 2021). Tecavüze uğramış olan bu kadınlarda daha sonraki yaşamlarında da somatoform bozuk, depresyon, anksiyete, dissosiyasyon ve travma sonrası stres bozukluğu tespit edilmiştir (Yakıt Ak, 2018). Ayrıca savaş sonrası birçok sığınmacı çocuğun, özellikle kız çocuklarının, küçük yaşta evlilik yaşadığı belirtilmiştir (Karanfiloglu, 2019).

Üreme Sağlığı Ürünlerine Erişim: Menstruasyon birçok kadın için ağrı ve çeşitli rahatsızlıklarla seyreden; üreme çağını şekillendiren ve düzenli olarak tekrar eden bir semptomlar bütünüdür. Fiziksel ağrı, yorgunluk, ruh hali değişimleri ve kaygı, menstruasyona özgü başlıca belirtiler arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, yetersiz menstrual sağlık ve hijyeni, idrar ve üreme yolu enfeksiyonları, kısırlık ve yaşam kalitesinde azalma gibi sağlık sorunlarına yol açabilmekte; ayrıca eğitim, istihdam ve üretkenlik üzerinde önemli psikososyal etkiler oluşturabilmektedir. Ancak savaş ortamlarında gıda ve su gibi temel ihtiyaçlara erişim çoğu zaman son derece sınırlı hale gelmektedir. Bu durum hem beslenmeyi olumsuz etkilemekte hem de kişisel temizlik ve yıkanma için su kullanımını kısıtlayarak uygun menstrual hijyeninin sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, insani yardım kapsamında dağıtılan gıda dışı yardım paketlerinde menstrual hijyen ürünleri çoğu zaman yeterince yer almamaktadır. Bu ciddi ürün eksikliği nedeniyle kadınlar hijyenik pedlere sağlıksız alternatifler kullanmak zorunda kalabilmekte ve bazı durumlarda menstruasyonu baskılamak ya da geciktirmek amacıyla norethisteron gibi hormonal ilaçlara başvurabilmektedir (Taha, 2024).

İstenmeyen gebelikler: Aile planlaması, cinsellik ve üremenin tüm yönleriyle ilgili olarak fiziksel, duygusal, zihinsel ve sosyal iyilik halini kapsayan cinsel ve üreme sağlığı kavramının bir parçasıdır. Ayrıca, güvenli ve tatmin edici bir cinsel hayata sahip olma yeteneğini, üreme kapasitesini ve aile planlaması da dahil olmak üzere üreme hakkında bilinçli kararlar alma özgürlüğünü içerir (Doghim ve ark., 2025). Savaşın aile planlaması ve sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlanmasına, istenmeyen gebeliklerde ve güvenli olmayan kürtajlarda artışa yol açtığı belirtilmektedir (Hedström & Herder, 2023).

Cinsel yolla bulaşan hastalıklar: Cinsel yolla bulaşan hastalıklar (CYBH); vajinal, anal ya da oral yoldan cinsel temas yoluyla insandan insana bulaşan virüs, bakteri ve parazitlerden kaynaklanan hastalıklardır. Biyolojik olarak kadınlar genital enfeksiyonlara daha duyarlıdır Cinsel yolla bulaşan hastalıkların fertilitateye, genital neoplaziye, ciddi neonatal ve fetal hasara neden olabilir (Polat, 2023; Aksoy Bulgurcu & Acun, 2024). İstatistiksel veriler savaş ile cinsel yolla bulaşan enfeksiyonların yayılması arasında bir bağlantı olduğunu göstermektedir. CYBH'nin yayılmasını etkileyen önemli bir faktörün, doğum kontrol yöntemlerine erişimin zorluğu olduğu belirlenmiştir (Kvasnevskaya et al., 2024). Shfare ve ark. (2025) Etiyopya'da Tigray savaşı esnasında tanılanmış CYBH vakalarının en büyük çoğunluğunun (%85,5) kadınlarda görüldü belirlenmiştir. 2014 yılında Rusya ve Ukrayna arasındaki silahlı çatışmanın başlamasından bu yana, Ukrayna'nın bazı bölgelerinde HIV insidansı %15'ten fazla artmıştır; bazı bölgelerden istatistikler işgal nedeniyle hala mevcut değildir (Kvasnevskaya et al., 2024).

Prenatal ve Maternal Sağlık Hizmetlerine Erişim: Gebelik, kadınların fizyolojik, psikolojik ve sosyal açıdan en hassas dönemlerinden biridir ve bu dönemde yaşanan herhangi bir stres faktörü hem anne hem de fetüs için ciddi riskler oluşturabilir (Aydemir & Ünal). Savaş, sağlık hizmetlerine verdiği hasar nedeniyle sağlığa erişimin engellenmesine ve anne ölüm oranlarının artmasına sebebiyet vermektedir. Savaşa maruz kalan alanlardaki anne ölüm oranları dünya genelinin iki katından fazladır. Ayrıca gebeler için savaş ortamında prenatal bakım eksikliği ile birlikte anemi, malnütrisyon görülebilmektedir. (Tulumtaş & Şimşek, 2024). Gazze'deki savaşta gebe kadınların %68'inin komplikasyon yaşadığını bildirilmiştir, Gebelerin %92'si idrar yolu enfeksiyonu, %76'sı anemi, %28'i erken doğum ve %44'ü hipertansif bozukluklardan muzdarip olduğu görülmüştür. Ayrıca gebelerin yaşadığı sorunlar arasında kanama (%20), hemoraji (%16) ve ölü doğumlar (%12) yer almaktadır (Shratch et al., 2025). Ayrıca sağlıklı doğum ortamının bulunmaması, su ve sanitasyon hizmetlerine erişimde güçlük, yetersiz sayıda sağlık personeli gibi sebepler anne-bebek sağlığı yönünden risk oluşturmakta, savaş alanındaki pek çok gebe profesyonel hekim ve ebeye ulaşmada sorun yaşamaktadır (Tulumtaş & Şimşek, 2024).

Ayrıca savaş infertilite tedavisi üzerinde de olumsuz etkilere sahiptir. Savaşlarda üreme sağlığı altyapısının tahrip edilmesi, doğurganlık tedavisi arayan bireyler için ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Örneğin, Gazze'nin başlıca doğurganlık merkezlerinin hedefli bir şekilde tahrip edilmesi, 5.000'den fazla embriyonun kaybına yol açarak yıllarca süren tıbbi çabaları boşa çıkarmıştır. Elektrik kesintisi, sıvı nitrojen kıtlığı ve laboratuvar tesislerinde meydana gelen büyük hasar nedeniyle embriyo dondurma da dahil olmak üzere temel yardımcı üreme terapisi (ART) hizmetleri aksamıştır (Shratch ve ark., 2025).

3. SAVAŞ ORTAMINDA ÜREME SAĞLIĞI PROBLEMLERİNE YÖNELİK MÜDAHALELER

Savaşın da dahil olduğu insani kriz durumlarında ortaya çıkan sağlık hizmeti eksikliklerini gidermek amacıyla Krizde Üreme Sağlığı için Kurumlararası Çalışma Grubu (Inter-Agency Working Group on Reproductive Health in Crises) tarafından Cinsel ve Üreme Sağlığı için Asgari Başlangıç Hizmet Paketi (Minimum Initial Service Package-MISP) geliştirilmiştir. MISP, insani yardım çalışanlarının bir acil durumun başlangıcında, mümkünse ilk 48 saat içinde, ele alması gereken asgari ve hayat kurtarıcı cinsel ve üreme sağlığı hizmetlerini tanımlayan bir müdahale paketidir (Kismödi & Pitchforth, 2022; Inter-Agency Working Group on Reproductive Health in Crises, n.d.).

Türkiye'de Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu (UNFPA) ve ilgili kuruluşlar tarafından İzmir'de "Cinsel ve Üreme Sağlığı için Asgari Başlangıç Hizmet Paketi (MISP)" eğitimleri düzenlenmiş ve bu paketle ilgili bakım kavramlarının öğretimi yapılmıştır. MISP, acil ve afet durumlarında anne ve bebek ölümlerinin azaltılması, toplumsal cinsiyete yönelik şiddetin ve cinsel yolla bulaşan enfeksiyonların önlenmesi amacını taşımaktadır (UNFPA Türkiye, 2017). Eğitime katılanlar;

1. Kriz durumlarında cinsel sağlık ve üreme sağlığı ile toplumsal cinsiyete dayalı şiddet konularının desteklenebilmesi,

2. MISP’te sağlanan temel kavramlar ve tekniklerin uygulanabilmesi,
3. MISP’nin uygulanmasına yönelik koordinasyon becerilerinin geliştirilmesi,
4. Kurumlar arasındaki kriz durumlarında acil durum ve gelişmeye yönelik sektörler arası iletişim ve işbirliğinin güçlendirilebilmesi,
5. Cinsel sağlık ve üreme sağlığı ile toplumsal cinsiyete dayalı şiddet konularında mezuniyet öncesi halk sağlığı eğitim programlarına dahil etmek için bir eylem planının hazırlanabilmesi konularında yeterlilik kazanmıştır (UNFPA Türkiye, 2017).

Ancak MISP’in Türkiye’de hala faaliyet göstermediği bildirilmiştir (Association for Women's Right to Health in Development [AWRHD], 2024).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Savaşın kadınlar üzerinde çok boyutlu etkileri olduğu söylenebilir. Savaş gibi insani krizler, hâlihazırda kırılgan olan üreme sağlığı hizmetlerini kesintiye uğratarak, kadınlar ve kız çocukları için önlenabilir sağlık risklerini önemli ölçüde artırmaktadır. Savaş gibi kriz ortamlarında üreme sağlığı hizmetleri kişilerin kolay ulaşılabilecek şekilde sağlanmalıdır. Özellikle bu alanlarda deneyimli sağlık çalışanlarının aktif rol alması ve hizmetlerin eğitim ve farkındalık çalışmaları ile desteklenmesi daha olumlu katkı sağlayacaktır. Türkiye özelinde, kriz dönemlerinde üreme sağlığı hizmetlerine erişimi sağlamak amacıyla eğitim çalışmaları yürütülmekle birlikte, bu eğitimlerin henüz yaygınlaşmamış olması, sahada yaşanan erişim sorunları ve hizmet bütünlüğünün sağlanamaması, üreme sağlığına yönelik yaklaşımın uygulamaya tam olarak geçmediğini göstermektedir. Bu nedenle, savaş ve benzeri acil durum planlamalarında, hemşirelerin de dahil olduğu eğitim programlarının yaygınlaştırılması ve pratikte uygulanmasının sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Association for Women's Right to Health in Development. (2024). *Submission for contribution to the United Nations Office of the High Commissioner for Human Rights’ follow-up report on good practice and challenges in implementing a human rights-based approach to eliminate preventable maternal mortality and morbidity*. OHCHR

Aksoy Bulgurcu, R., & Acun, A. (2024). Afetlerde enfeksiyon riski: Genital enfeksiyonlar. *YBH Dergisi*, 5(2), 163–178.

Aydemir, H., & Ünal, İ. (2025). Filistin’de kadın olmak: Savaşın içinde gebeliği yaşamak. *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(Özel Sayı), 223-233.

Bayır-Aslan, Ş., & Güngör, F. (2020). Uluslararası sosyal çalışma bağlamında kadına yönelen savaşı tecavüzleri ve kolektif etmenleri. *Toplum ve Sosyal Hizmet*, 31(2), 578-603.

Bendavid, E., Boerma, T., Akseer, N., Langer, A., Malembaka, E. B., Okiro, E. A., Wise, P. H., Heft-Neal, S., Black, R. E., & Bhutta, Z. A.; BRANCH Consortium Steering Committee.

(2021). The effects of armed conflict on the health of women and children. *Lancet*, 397(10273), 522–532. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00131-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00131-8)

Birleşmiş Milletler Kadın Birimi (UN Women). (2025, Ekim). *Wars on women escalate as global conflicts reach record highs* [Basın açıklaması]. UN Women. <https://www.unwomen.org/en/news-stories/press-release/2025/10/wars-on-women-escalate-as-global-conflicts-reach-record-highs>

Doghim, O., Daif, A., Ekzayez, A., et al. (2025). Investigating the impact of armed conflict, cultural factors, and demographic characteristics on access to family planning services in Northwest Syria: A cross-sectional study. *BMC Health Services Research*, 25, 489. <https://doi.org/10.1186/s12913-025-12600-4>

Hedström, J., & Herder, T. (2023). Women's sexual and reproductive health in war and conflict: Are we seeing the full picture? *Global Health Action*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/16549716.2023.2188689>

Inter-Agency Working Group on Reproductive Health in Crises. (n.d.). *Minimum Initial Service Package (MISP) resources*. <https://iawg.net/resources/minimum-initial-service-package-misp-resources>

Karanfiloğlu, M. (2019). Savaş, Kadın, Çocuk ve Göç Üzerine: Suriye Örneği. *Muhakeme Journal*, 2(1), 99-124. <https://doi.org/10.33817/muhakeme.508689>

Karo, E., & Paksoy, S. (2021). Şiddet ve savaş. In *I. Uluslararası Şiddet ve Şiddeti Önleme Kongresi / 1st International Congress on Violence and Violence Prevention* (ss. 99–101). https://www.researchgate.net/profile/Sule-Mumcu/publication/358339381_Verbal_Presentation/links/61fc5ee9aad5781d41cd2ca0/Verbal-Presentation.pdf#page=107

Kismödi, E., & Pitchforth, E. (2022). Sexual and reproductive health, rights and justice in the war against Ukraine 2022. *Sexual and Reproductive Health Matters*, 30(1). <https://doi.org/10.1080/26410397.2022.2052459>

Kvasnevska, Y., Faustova, M., Voronova, K., Basarab, Y., & Lopatina, Y. (2024). Impact of war-associated factors on spread of sexually transmitted infections: A systematic review. *Frontiers in Public Health*, 12, 1366600. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1366600>

Polat, F. (2023). Afetlerde cinsel sağlık ve üreme sağlığı (ss. 65–88). N. Ulutaşdemir & M. Kabakuş Aykut (Ed.), *Afetlerde kadın ve çocuk sağlığı*. KSAD Publications.

Shfare, M. T., Wasihun, A. G., Kidane, K. M., et al. (2025). The wartime prevalence of HIV, HBV, and reported STI-related syndromes among tested individuals in Ayder Comprehensive Specialized Hospital, Tigray, Ethiopia. *BMC Infectious Diseases*, 25, 743. <https://doi.org/10.1186/s12879-025-11113-z>

Shrateh, O. N., Naasan, M., & Wahab, N. A. A. (2025). Wombs in the crossfire: The impact of war on reproductive health and fertility in Gaza: A narrative review. *Middle East Fertility Society Journal*, 30, 48. <https://doi.org/10.1186/s43043-025-00269-y>

Yakıt Ak, E. (2018). Savaş ve kadın. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi (The Journal of International Social Research)*, **11**(58). <https://doi.org/10.17719/jisr.2018.2607>

Pillai, V., Wang, Y. C., & Maleku, A. (2017). Women, war, and reproductive health in developing countries. *Social Work in Health Care*, **56**(1), 28–44. <https://doi.org/10.1080/00981389.2016.1240134>

Taha, S. (2024). Periods in a tough period: Global health failure to respond to menstruation during war. *BMJ Global Health*, **9**, e016957. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2024-016957>

Tulumtaş, Ö. S., & Şimşek, E. (2024). Göç ve savaş bağlamında kadın sağlığı. *Afet ve Risk Dergisi*, **7**(2), 341–353.

UNFPA Türkiye. (2017, 8 Aralık). *Minimum Başlangıç Hizmet Sunum Paketi- Minimum Initial Service Package (MISP) eğitimi İzmir'de yapıldı*. <https://turkiye.unfpa.org/tr/news/minimum-ba%C5%9Flang%C4%B1%C3%A7-hizmet-sunum-paketi-minimum-initial-service-package-misp-e%C4%9Fitimi-izmir%E2%80%99de>

THE EFFICACY OF NbB₂-REINFORCED SHIELDING IN CLINICAL SETTINGS

Lecturer Dr. Zübeyde ÖZKAN^{1*}

^{1*}Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 06500, Ankara, Türkiye
zubeydeozkan@gazi.edu.tr - 0000-0003-2901-7749

ABSTRACT

Radiation, widely used in the diagnosis and treatment of diseases, has negative effects on healthcare workers and patients due to the radiation dose levels accepted by ALARA (As Low As Reasonably Achievable). For this reason, many researchers are working on radiation shielding materials to reduce the radiation dose received by hospital staff and patients. Composite shielding materials are designed by adding 5%, 10%, and 20% by weight of NbB₂ ceramic material to AZ31 magnesium alloy. Depending on the increasing weight percentage of NbB₂ in the composite shielding materials, parameters for instance mass and linear attenuation coefficients (MAC-LAC), one-tenth and half-value layers (TVL-HVL), which provide information about the shielding properties against photon energies of 20 keV, 100 keV, and 140 keV, were examined. Among the analyzed materials, AZ31 + 20% NbB₂ showed the best shielding material properties.

Keywords: AZ31, NbB₂, radiation shielding

1. INTRODUCTION

With the discovery of ionizing radiation (IR), the significance of radiation in the health sector is increasing day by day. It has many applications in the diagnosis (radiographic imaging of the human body, for instance, tissues, muscles, and bones) and treatment (cancer, etc.), radiotherapy, nuclear medicine, and a lot of other fields [1-2]. Although radiation has important benefits for human health, long-term radiation exposure can pose serious risks because of the penetrability and dangerous effects of ionizing radiation. The likelihood of exposure to radiation dose levels accepted by ALARA (As Low As Reasonably Achievable) is increasing day by day for healthcare workers and patients [3-5]. Radiation shielding material is needed to control the amount of radiation dose received. Lead is used as a radiation shielding material because of its high atomic number and density. However, the toxicity and weight of lead make it difficult to transport and use [6-8]. AZ31 alloy, one of the magnesium alloys, is a low-density, non-toxic, biocompatible material produced by alloying with aluminum and zinc elements, and its density is compatible with the human body, thus exhibiting properties that contrast with the disadvantages of lead [9-11].

Ardiansyah et al. [12] investigated the radiation transmittance properties of polyester/PVA/BaCO₃ composite materials against X-rays experimentally and theoretically.

Ihsani et al. [13] found that the addition of bismuth developed the X-ray shielding properties of the material in their studies on wearable shielding materials to protect against the deleterious effects of X-rays. Karim et al. [14] found that the X-ray shielding properties of B₂O₃–CaO–ZnO–TeO₂ glasses improved with the increase in TeO₂ content. Zakaria et al. [15] investigated the radiation shielding properties of tile materials with different thicknesses and densities obtained from local producers and found that C3–S9 ceramic had the best radiation shielding properties. Wu et al. [16] showed that Ga–In–Sn–Bi alloys, used in their research on the shielding properties of materials against X-rays, showed better shielding properties than lead in the energy range of 80 keV–30 keV. Boontueng et al. [17] reported that the shielding properties of CeF₃-doped glass materials deteriorated with a decrease in the ZnO content.

In this study, AZ31 magnesium alloy was mixed with NbB₂ ceramic material at weight percentages of 5%, 10%, and 20%, and the radiation transmittance properties of the material, which are important parameters for instance MAC, LAC, TVL, and HVL, were examined using the NGCal program.

2. MATERIAL AND RADIATION PARAMETERS

2.1. Materials

The density of the AZ31 alloy with 1% Zn and 3% Al content is 1.7703 g/cm³ [18]. Information on composite materials reinforced with NbB₂ ceramic material with a density of 6.9 g/cm³ [19] is given in Table 1.

Table 1: Percentage distribution by weight of composite materials

Material Codes	AZ31 %	NbB ₂ %
A0	100	0
A5	95	5
A10	90	10
A20	80	20

2.2. Radiation Shielding Parameters

The NGCal program is an online program that can be accessed free of charge at <http://ngcal.com/web>. Radiation shielding parameters at 20 keV, 100 keV and 140 keV energies were analyzed in the NGCal program [20]. Linear attenuation coefficients (μ) of AZ31+(%5-10-20) NbB₂ composite materials are calculated using the Beer-Lambert rule (Equation 1).

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

I , I_0 , μ and x are the intensity of radiation passing through the material, the incident radiation intensity, the linear attenuation coefficient, and the material thickness, respectively [21-22]. Dividing the linear attenuation coefficient by the density of the shielding material used yields the MAC (μ_m) of the material given in Equation 2 [23-24].

$$\mu_m = \mu/\rho \quad (2)$$

HVL and TVL, which are parameters indicating the radiation absorption ability of the shielding material used, represent the thickness of the material required to diminish the intensity of the incident radiation to half its value and to one-tenth its value, respectively. The units of HVL and TVL are cm [25-26]. They are calculated as given in Equations 3-4.

$$HVL = \ln 2 / \mu \quad (3)$$

$$TVL = \ln 10 / \mu \quad (4)$$

3. RESULTS

As shown in Figure 1, AZ31 alloy materials theoretically reinforced with 5-10-20% by weight percentages of NbB₂ ceramic were analyzed at 20 keV, 100 keV, and 140 keV photon energies. An increase in the linear attenuation coefficient occurred with increasing NbB₂ ceramic material in the AZ31 magnesium alloy. One of the main reasons for this is that the NbB₂ (Nb:41, B:5) ceramic has a higher atomic number than the main element of the AZ31 alloy, Mg (12). Another reason is that the density of the NbB₂ ceramic is approximately four times higher than that of the AZ31 material. The AZ31 material and the AZ31+ (5-10-20%) NbB₂ composite materials received their lowest LAC value at 140 keV energy. At a photon energy of 140 keV, the LAC values of samples coded A0, A5, A10, and A20 were approximately 0.257 cm⁻¹, 0.320 cm⁻¹, 0.391 cm⁻¹, and 0.552 cm⁻¹, respectively.

As seen in Figure 2, samples coded A0, A5, A10, and A20 obtained higher MAC values at lower photon energies. At 140 keV photon energies, samples A0, A5, A10, and A20 had MAC values of approximately 0.145 cm²/g, 0.158 cm²/g, 0.171 cm²/g, and 0.197 cm²/g, respectively. In general, the MAC values of the materials increased with the addition of reinforcement.

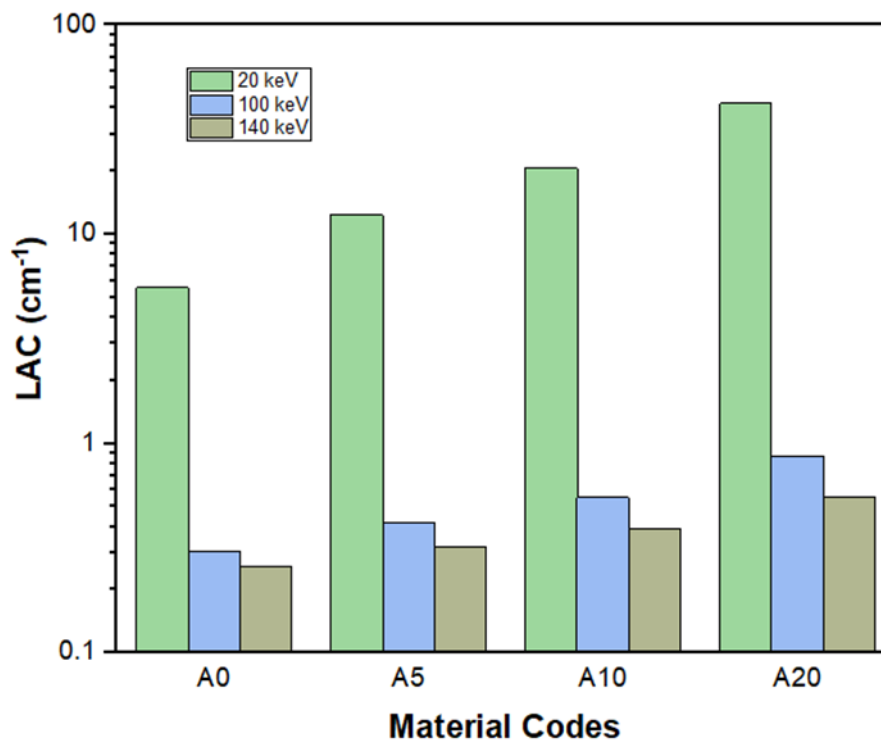


Figure 1: LAC value of samples

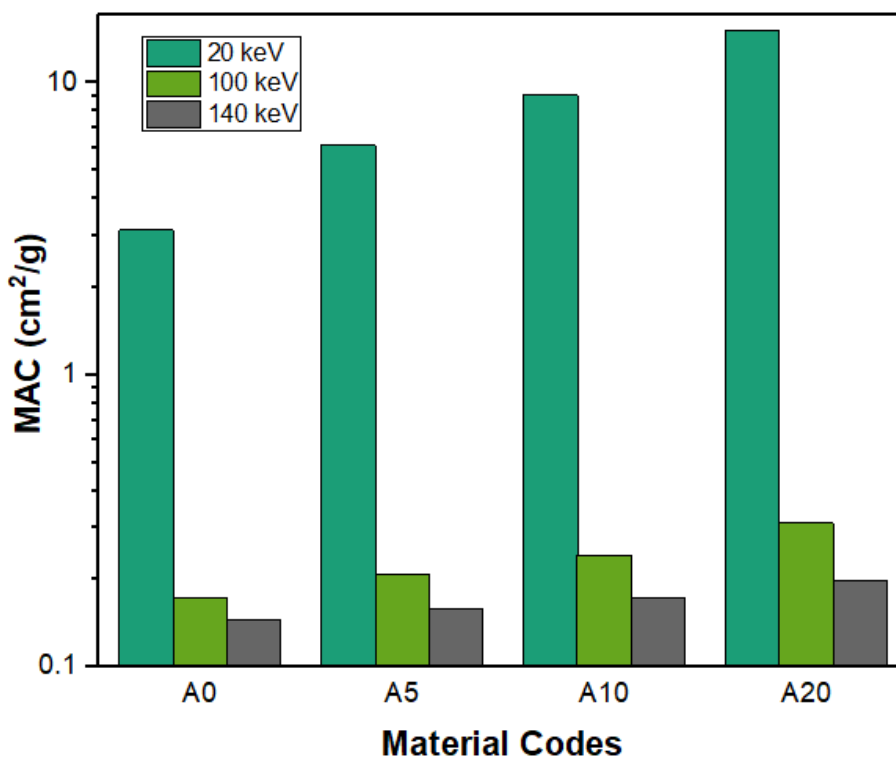


Figure 2: MAC value of samples

Figure 3 shows that the material thickness needed to halve the incident radiation intensity increases with increasing radiation energy. Materials with low LAC values require higher HVL values due to their poor absorption capabilities. As a result of the analysis, the HVL value of sample A0, which has the worst radiation shielding, decreased by approximately 87% at 20 keV energy after adding 20% NbB₂. The HVL value of the materials is maximum at 140 keV energy.

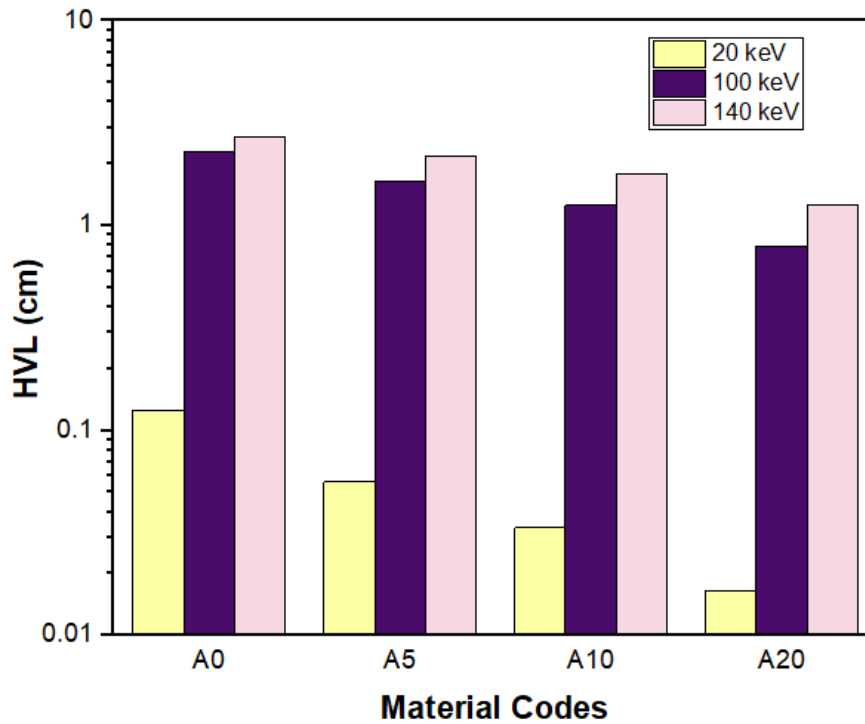


Figure 3: HVL value of samples

As shown in Figure 4, as photon energy increases, the material thickness (TVL) required to reduce the incident photon energy to one-tenth of its intensity also increases. At 20 keV, where the photoelectric effect predominates, the TVL values of materials A0, A5, A10, and A20 are approximately 0.416 cm, 0.186 cm, 0.111 cm, and 0.0548 cm, respectively. Adding 20% by weight of NbB₂ to AZ31 reduces the required TVL value for the AZ31 material.

Due to its high shielding properties at low radiation energies, light weight, increased mobility for hospital staff and patients, and oxidation resistance, AZ31 + 20% NbB₂ composite material is a suitable material for use in the healthcare sector.

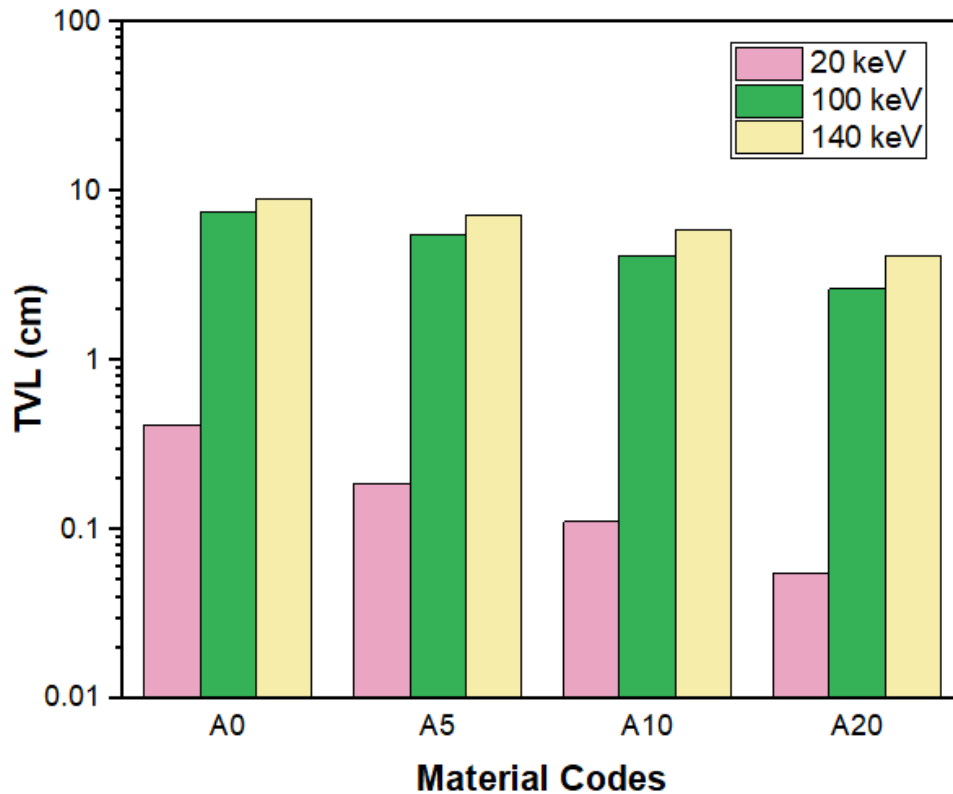


Figure 4: TVL value of samples

4. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

To design a non-toxic, lightweight material to provide protection against the harmful effects of radiation sources used for diagnosis and treatment in the healthcare sector, AZ31 magnesium alloy was mixed with NbB₂ ceramic material at 5%, 10%, and 20% weight percentages, and its radiation transmittance properties were investigated using the NGCal program. Parameters such as MAC, LAC, and HVL, which provide essential information about the radiation properties of shielding materials, were examined. Among the analyzed materials, the AZ31 + 20% NbB₂ composite material showed the best shielding properties. Compared to lead, the AZ31 + 20% NbB₂ material exhibited lower shielding properties. However, the use of low-energy radiation sources for diagnosis and treatment in hospitals, the non-toxicity of AZ31 and NbB₂ materials, and the fact that the AZ31 + 20% NbB₂ composite material is lighter than lead make AZ31 + 20% NbB₂ a suitable alternative material to lead in the healthcare sector.

REFERENCES

1. Zakaria, M.A., M.K.A.A, Razab, Adenan, M.Z., Ahmad, M.Z., Tajudin, S.M., Samson, D.O., Aziz, M.Z.A. (2024). Radiation attenuation and elemental composition of locally available ceramic tiles as potential radiation shielding materials for diagnostic X-ray rooms. *Nuclear Engineering and Technology* 56 (2024) 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.10.001>

2. Akkurt, I., Alomari, A., Imamoglu, M.Y., Ekmekçi, D., (2023). Medical radiation shielding in terms of effective atomic numbers and electron densities of some glasses. *Radiation Physics and Chemistry* 206 (2023) 110767.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.110767>
3. Kim, S.C., Dong, K.R., Chung, W.K., (2012). Medical radiation shielding effect by composition of barium compounds. *Annals of Nuclear Energy* 47 (2012) 1–5.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2012.04.014>
4. Darwesh, R., Sayyed, M.I., Al-Hadeethi, Y., Alasali, H.J., Alotaibi, J.S., (2023). Enhanced radiation shielding performance of epoxy resin composites with Sb₂O₃ and Al₂O₃ additives. *Radiation Physics and Chemistry* 213 (2023) 111247.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111247>
5. Lee, A.J.G., (2021). Patient X-ray exposure and ALARA in the neonatal intensive care unit: Global patterns. *Pediatrics and Neonatology* (2021) 62, 3e10.
<https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2020.10.009>
6. Alrowaili, Z.A., Kirkbınar, M., İbrahimoglu, E., Çalışkan, F., Alrowaili, N.S., Elhadi, M., Olarinoeye, I.O., Arslan, H., Al-Buriah, M.S. (2023). Radiation shielding performance of recycled waste CRT glasses doped with Li₂O and Y₂O₃: Potential applications in medical facilities. *Radiation Physics and Chemistry* 212 (2023) 111200. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111200>
7. Bektasoglu, M., Mohammada, M.A. (2020). Investigation of radiation shielding properties of TeO₂–ZnO–Nb₂O₅–Gd₂O₃ glasses at medical diagnostic energies. *Ceramics International* 46 (2020) 16217–16223.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.177>
8. Kwon, D.E., Han, D.H., Kim, J.O., Jung, K.H., Baek, C.H. (2023). Multi-layered structures for lightweight providing shielding from unintended radiation exposure for pediatric patients. *Radiation Physics and Chemistry* 204 (2023) 110720.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110720>
9. Mei, D., Li, Y., Tian, Y., Zhang, Q., Liu, M., Zhu, S., Wang, L., Guan, S., (2024). The effect of selected corrosion inhibitors on localized corrosion of magnesium alloy: The expanded understanding of "inhibition efficiency". *Corrosion Science* 226 (2024) 111650. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111650>
10. Abedini, A., Shamskhani, R., Valmoozi, A.A.E., Afghahi, S.S.S. (2023). Effect of aging on corrosion and discharge performance of AZ63-1.5RE alloy as anode in magnesium-dissolved oxygen seawater batteries. *Journal of Power Sources* 581 (2023) 233405. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233405>
11. Chamos, A.N., Pantelakis, Sp. G. Haidemenopoulos, G.N., Kamoutsi, E. (2008). Tensile and fatigue behaviour of wrought magnesium alloys AZ31 and AZ61. *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 31, 812–821. doi: 10.1111/j.1460-2695.2008.01267
12. Ardiansyah, A., Armynah, B., Heryanto, H., Sukaryo, S.G., Karim, M.K.A., Tahir, D., (2024). X-ray radiation shielding: Enhanced performance with BaCO₃ nanocrystal-infused composite polyester/PVA/BaCO₃ exhibiting medicine capsule-like structure. *Materials Chemistry and Physics* 319 (2024) 129366.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129366>
13. Ihsani, R.N., Alomari, A.H., Gareso, P.L., Heryanto, H., Ardiansyah, A., Karim, M.K.A., Tahir, D. Composite cellulose/bismuth/PVA nanocrystal for high-

- performance X-ray radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry* 226 (2025) 112189. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.112189>
14. Karim, S.R., Khan, S., Ansari, G.F., Mishra, D., Kumar, S., Ashiq, M. X-ray attenuation performance of a newly synthesized tellurium based lead-free radiation shielding glass system. *Radiation Physics and Chemistry* 216 (2024) 111477. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111477>
15. Zakaria, M.A., Azhar, M.K., Razab, A., Adenan, M.Z., Ahmad, M.Z., Tajudin, S.M., Samson, D.O. Aziz, M.ZA. Radiation attenuation and elemental composition of locally available ceramic tiles as potential radiation shielding materials for diagnostic X-ray rooms. *Nuclear Engineering and Technology* 56 (2024) 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.10.001>
16. Wu, J., Hu, J., Deng, Z., Feng, Y., Zhao, X., Fan, H., Wang, Z., Zhang, W., Wang, K. Ga–In–Sn–Bi Alloys for radiation shielding application: Investigation of the structures, morphologies, and x-ray attenuation performances. *Journal of Alloys and Compounds* 969 (2023) 172294. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172294>
17. Boontueng, P., Ritjoho, N., Laojamnongwong, N., Phumara, P., Songmoolnak, A., Saenpoowa, J., Wantana, N., Sanghangthum, T., Chanlek, N., Kothan, S., Limphirat, A., Yan, Y., Kaewkhao, J., Kobdaj, C. Detecting and shielding properties of Ce³⁺-doped zinc–gadolinium–fluoroborate glasses for X-ray and proton radiation. *Optical Materials* 142 (2023) 114075. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114075>
18. Zhou, M., Qu, X., Ren, L., Fan, L., Zhang, Y., Guo, Y., Quan, G., Tang, Q., Liu, B., Sun, H. The Effects of Carbon Nanotubes on the Mechanical and Wear Properties of AZ31 Alloy. *Materials* 2017, 10, 1385; doi:10.3390/ma10121385
19. Gollaa, B.R. Mukhopadhyay, A., Basu, B., Thimmappa, S.K. (2020). Review on ultra-high temperature boride ceramics. *Progress in Materials Science* 111 (2020) 100651. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100651>
20. Gökçe, H.S., Güngör, O., Yılmaz, H. (2021). An online software to simulate the shielding properties of materials for neutrons and photons: NGCal. *Radiation Physics and Chemistry* 185 (2021) 109519. doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109519
21. Kiani, M.A., Ahmadi, S.J., Outokesh, M., Adeli, R., Mohammadi, G., 2017. Preparation and characteristics of Epoxy/Clay/B₄C nanocomposite at high concentration of boron carbide for neutron shielding application. *Radiat. Phys. Chem.* <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.07.013>.
22. Avcıoglu, S., Buldu, M., Kaya, F., Üstündag, C.B., Kam, E., Menceoglu, Y.Z., Kaptan, H.Y., Kaya, C., 2019. Processing and properties of boron carbide (B₄C) reinforced LDPE composites for radiation shielding. *Ceram. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.268>.
23. Kaardogan, Z.I., Ozdemir, Y., Kavaz, E., 2021. Investigation of photon interaction properties of some Ni-based superalloys. *El-Cezerî J. Sci. Eng.* <https://doi.org/10.31202/ecjse.831869>.
24. Abouhaswa, A.S., Zakaly, H.M.H., Issac, S.A.M., Rashad, M., Pyshkina, M., Tekin, H.O., El-Mallawany, R., Mostafaa, M.Y.A., 2020. Synthesis, physical, optical, mechanical, and radiation attenuation properties of TiO₂–Na₂O–Bi₂O₃–B₂O₃ glasses. *Ceram. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.08.122>.

25. Kılıçoğlu, O., Tekin, H.O., 2020. Bioactive glasses with TiO₂ additive: behavior characterization against nuclear radiation and determination of buildup factors. *Ceram. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.01.088>.
26. Hanfi, Y. M., Sakr, A. K., İsmail, A. M., Atia, B. M., Alqahtani, M.S., Mahmoud, K. A. Physical characterization and radiation shielding features of B₂O₃As₂O₃ glass ceramic. *Nucl. Eng. Technol.* 2023, 55 (1), 278–284, DOI: 10.1016/j.net.2022.09.006.

ADİPONEKTİN HORMONUNUN SKMEL-30 HÜCRELERİNDE METASTAZ İLE İLİŞKİLİ GEN EKSPRESYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Nebiye Pelin TURKER

Trakya Üniversitesi, Teknoloji Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi, 22030,
Edirne, Turkey

e-mail: npelinturker@trakya.edu.tr

gsm: 05442669992

ORCID ID: 0000-0001-6060-3557

ÖZET

Melanom, melanositlerden köken alan ve yüksek metastatik potansiyeli nedeniyle ciddi seyreden bir cilt kanseri türüdür. Kanser hücrelerinin yüzeyinde bulunan sialik asit; hücre adezyonu, bağışıklık sisteminden kaçış ve metastaz süreçlerinde kritik rol oynamaktadır. Bu çalışma, adiponektin hormonunun SKMEL-30 melanom hücrelerinde metastaz ile ilişkili sinyal yolları üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

SKMEL-30 hücre hattı kullanılarak yapılan çalışmada, adiponektin hormonunun sitotoksik etkisi MTT testi ile belirlenmiş ve LD50 dozu yaklaşık 78,3 mikrogram/ml olarak saptanmıştır. Belirlenen dozun metastatik gen ekspresyonlarındaki değişimler qRT-PCR yöntemiyle analiz edilmiştir.

. Gen ekspresyon analizlerinde, metastazla ilişkili şu değişimler belirlenmiştir:

- TIMP-1 ve TIMP-2 gen ekspresyonlarında 12.54 kat artış gözlenmiştir.
- MMP-2 gen ekspresyonunda 21.56 kat artış saptanmıştır.
- CDH-2 (N-kaderin) gen ekspresyonunda 28.87 kat artış belirlenmiştir.

Adiponektin hormonu, SKMEL-30 hücrelerinde sialik asit düzeylerini düşürerek hücreler arası adezyonu bozmakta ve metastatik potansiyeli sınırlamaktadır. Ancak, CDH-2 ekspresyonunun artması, hücrelerin Epitel-Mezenkimal Geçiş (EMT) sürecini tetikleyebildiğini göstermektedir. Bu bulgular, adiponektinin melanom progresyonundaki karmaşık rolünün anlaşılması için daha ileri araştırmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Melanom, Adiponektin, Metastaz, Skmel-30

MINIMAL INVASIVE REHABILITATION OF MAXILLARY AND MANDIBULAR ANTERIOR DIASTEMAS WITH DIRECT RESIN COMPOSITE: A CASE REPORT

Yasamin Alekadi

Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Recep Tayyip Erdoğan University,
Rize, Turkey

yasaminabdulaziznooraldeen_alekadi23@erdogan.edu.tr – ORCID: 0009-0007-1448-8800

Fatih Bedir

Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Recep Tayyip Erdoğan University,
Rize, Turkey

fatih.bedir@erdogan.edu.tr - ORCID: 0000-0002-4909-4701

Abstract

Aim: Diastemas observed in the anterior region may lead to aesthetic concerns and inadequate smile aesthetics in individuals. Today, conservative, aesthetic, and functional rehabilitation can be achieved with minimal invasive direct resin composite restorations. The aim of this case report was to present the treatment of diastemas in the maxillary and mandibular anterior using minimal invasive direct resin composite restorations and to evaluate the aesthetic and functional outcomes obtained.

Case Report: An 18-year-old systemically healthy female patient was included in the study. The patient presented to the clinic with aesthetic complaints due to spaces between the anterior teeth. Clinical and radiographic examinations revealed the presence of diastemas disrupting the symmetry between the maxillary and mandibular anterior teeth. After the patient was informed about the available treatment alternatives, direct composite restorations were planned as an economical and minimally invasive treatment option. Prior to the restoration, shade selection was performed using the button technique. Following isolation, an adhesive system (Clearfil S³ Bond; Kuraray Noritake, Japan) was applied according to the manufacturer's instructions, and resin composite (G-ænial A2; GC, Japan) was placed using the layering technique. Anatomical contours, contact points, and incisal edge morphology were carefully established to ensure aesthetic and functional harmony. After finishing and polishing procedures, a harmonious smile aesthetic compatible with the natural tooth structure was achieved.

Conclusion: Clinical evaluation after treatment demonstrated successful outcomes in terms of aesthetics, function, and patient satisfaction. This conservative approach, which allows preservation of tooth structure, enables the achievement of a natural and harmonious smile aesthetic in the anterior when appropriate case selection and proper anatomical shaping are performed. Direct composite resin applications stand out as a rapid, economical, and reversible treatment alternative, particularly for young patients.

Keywords: Diastema, direct resin composite, anterior aesthetics, minimally invasive treatment

EMNİYET KEMERİ DOKUMASINDA SÜRTÜNME KAYNAKLI ISINMA ve LİF HASARI: KAPLAMA ile İYİLEŞTİRME

Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ

Çukurova Üniversitesi

ozlemerdem@cu.edu.tr - 0000-0002-0976-2162

Prof.Dr. Ali Can YILMAZ

Çukurova Üniversitesi

acyilmaz@cu.edu.tr - 0000-0001-9832-9880

ÖZET

Araçlarda emniyet kemerleri kritik güvenlik elemanlarıdır, ancak sürekli hareket ve kayma sürtünmesi altında ısınma ve lif hasarı riski taşırlar. Poliamid veya polyester dokumadan imal edilen kemerler, kemer kilitlerine sürtünürken ısı oluşur; bu ısı elyaf yüzeyini yumuşatıp lif mukavemetini düşürebilir. Bu çalışmada, sürtünme ısınmasını azaltmak ve lif yıpranmasını önlemek amacıyla şeffaf silikon bazlı bir kaplama önerilmiştir. Kaplama, kemerin yüzeyine spreyle yöntemiyle uygulanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Deneysel protokolde, ASTM D1894 sürtünme ölçüm cihazı ile kemer örnekleri 5 N ön yük ve 0.2 m/s hızda kaydırılarak ara yüzey sıcaklığı termokopella ölçülmüştür. Kaplamasız kontrol ve kaplamalı numuneler için sürtünme katsayısı ve sıcaklık artışı kaydedilmiştir. Lif hasarını incelemek için aşınma sonrası numuneler SEM ile görüntülendi; ayrıca çekme dayanımı kıyaslanmıştır. Sonuçlar, kaplamalı kemerin kayma sırasında yaklaşık 15–20 °C daha az ısındığını ve lif yüzeyinde daha az liflerarası kopma gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Mekanik çekme testinde kaplamalı numune yük taşıma kapasitesinin yalnızca %5 azalmıştır. Bu bulgular, düşük sürtünmeli kaplamaların emniyet kemeri ömrünü uzatarak güvenliğini artırabileceğini göstermektedir. Çalışmada kullanılan yöntemler ve ölçüm parametreleri (sürtünme hızı, yük, sıcaklık ölçüm aralığı vb.) ve elde edilen veriler, otomotiv tekstil uygulamaları için doğrudan uygulanabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Emniyet kemeri dokuması, sürtünme kaynaklı ısınma, anti-aşınma kaplama

1. GİRİŞ

Emniyet kemerleri, ani duruş ve çarpışma sırasında yolcuları sabitleyen hayati önemde sistemlerdir. Kemer dokuma yüzeyi sürekli hareket ederek keçe veya kilide sürtünür. Bu sürtünme, özellikle uzun süre kullanımda dokuma yüzeyinde ısı birikimine neden olabilir. Sentetik elyaflar sürtünmeyle ısındıklarında, polimerin camsı geçiş sıcaklığına yaklaşan ısı artışı fiber mukavemetini azaltır ve yüzeyde mikrohasar oluşturur. Örneğin, uçan eğirme süreçlerinde sürtünmeli temas ısı üretir ve polyester elyafın termal hasara uğradığı SEM

görüntüleriyle gösterilmiştir [1]. Bu bakımdan, emniyet kemerindeki aşırı ısınma ve lif yıpranması güvenliği riske atan bir sorundur.

Bu soruna çözüm olarak düşük sürtünmeli kaplamalar ön plana çıkmaktadır. Modern emniyet kemeri dokumalarının bazıları, sürtünmeyi azaltıcı kaplamalarla işlenmektedir. Örneğin tekstil üreticileri, anti-sürtünme özellikli (yağlayıcı) kaplamalar uygulayarak kemerin toka ve makaralarda daha kolay kaymasını sağlayıp aşınmayı düşürdüklerini bildirmiştir [2]. Kaplamalar ayrıca toz ve kir tutumunu engelleyerek da yüzey etkileşimini azaltır. Bunlara ek olarak polimer filmlerin katmanlı sürtünme modellerinde ultrasonik titreşim kullanılarak sürtünmenin aktif kontrolü önerilmiştir; ancak pratik yöntem olarak yüzey kaplamaları maliyet ve uygulama kolaylığı sağlar [2]. Bu çalışmada, silikon bazlı kayganlaştırıcı bir kaplama ile sürtünme etkisini hafifletmek ve dolayısıyla kemer ısınmasını azaltarak lif hasarını önlemek amaçlanmıştır. Literatürde kaplama uygulamalarının emniyet kemer performansı üzerindeki sistematik etkisi sınırlı olduğundan, bu araştırma teması ara yüzeyinde üretilen ısının ve oluşan lif hasarının ölçüm ve gözlem ile değerlendirilmesine odaklanmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

- **Kullanılan Malzemeler:** Standart otomotiv sınıfı polyester emniyet kemeri dokuması (5 cm genişliğinde, TÜV/FMVS302 standartlarında). Kaplama materyali olarak silikon bazlı kayganlaştırıcı (frikasyon azaltıcı) solüsyonu (ticari ortam suyu karışımı) seçilmiştir. Bu tür kaplamalar tekstil sektöründe kolay uygulanabilirliğiyle bilinir.
- **Kaplama Uygulaması:** Kemer örnekleri dip-coating yöntemiyle kaplama solüsyonuna daldırılmıştır. Yüzeyde kalacak kaplama miktarını standardize etmek için %100 yakalama payı hedeflenerek döndürme sonrası fazla madde sıkılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Kontrol grubu olarak kaplamasız (ham) kumaş kullanılmıştır. Kaplama kalınlığı yaklaşık 5–10 µm düzeyindedir.
- **Sürtünme ve Isı Ölçümü:** Sabit 5 N normal kuvvet ve 0.2 m/s kayma hızı ile çelik plaka üzerinde sürtülen kemer şeridi, oda sıcaklığında 300 kayma döngüsüne maruz bırakılmıştır. Pürüzlü temas bölgesine yerleştirilen mini termokupl ile her 10 kayma döngüsünde yüzey sıcaklığı kaydedilmiştir. Kontrol ve kaplamalı numunelerde dinamik sürtünme katsayıları ve maksimum sıcaklık artışları kıyaslanmıştır.
- **Lif Hasarı Analizi:** Sürtünme sonrası her numuneden SEM görüntüleri alınmış, orijinal lif yüzeyi (test öncesi) ile karşılaştırmalı olarak, sürtünme sonrası kontrol ve kaplamalı lif kesitleri incelenmiştir. Kontrollü liflerde lif fibrillerinin dışarı çıktığı veya kopma olduğu gözlemlenirken, kaplamalıda bu belirtiler belirgin oranda azalmıştır. Bunun miktarını anlamak için optik profilometre ile lif yüzeyi taranarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) hesaplanmıştır.
- **Karakterizasyon:** Kaplamalı numunelerin yüzeyi FTIR spektrumu ile incelenmiş ve silikonlu bileşenin varlığı teyit edilmiştir. Kaplama sonrasındaki yüzey pürüzlülük değişimi optik profilometre ile ölçülmüştür. Çekme testinde kırılma noktası takibiyle elyaf yumuşaması olup olmadığı belirlenmiştir. Tüm testlerde deneyler üçer tekrar yapılarak ortalama değerler hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

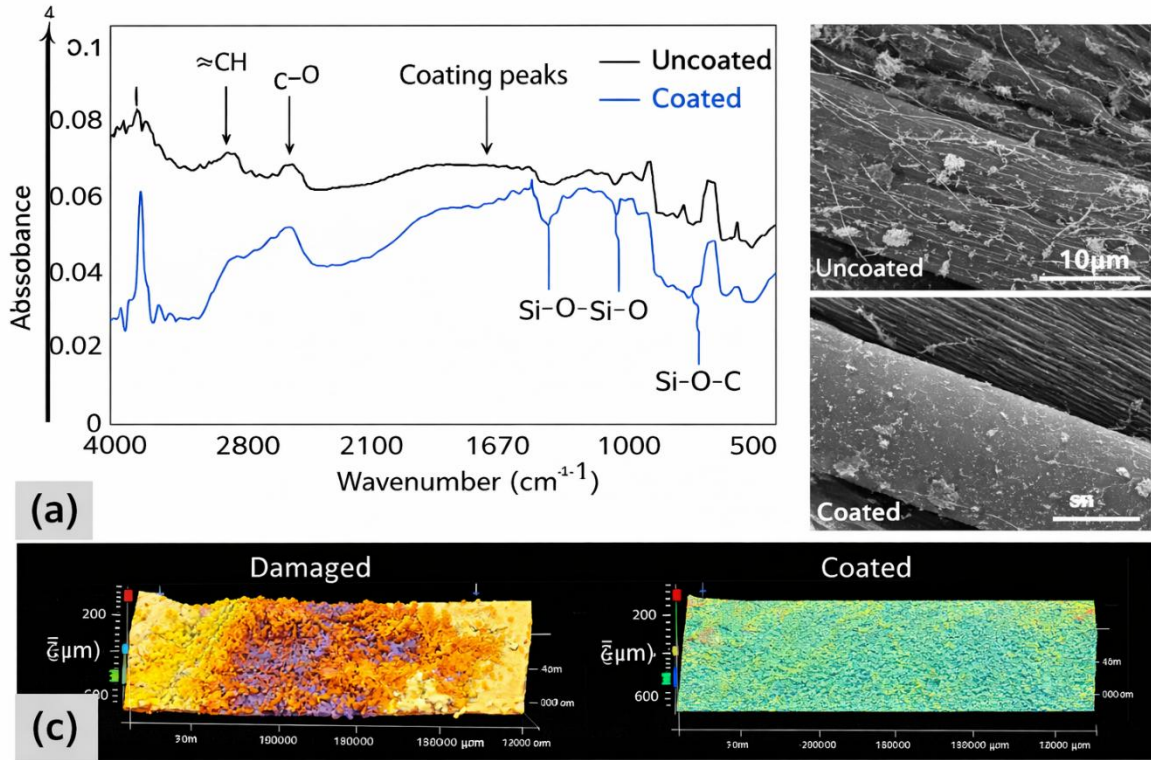
Deneyisel sonuçlar kaplama etkisini açıkça ortaya koymuştur. Sürtünme katsayısı kaplamalı numunede %15–20 azalma göstermiştir. 300 döngü sonunda ölçülen maksimum temas sıcaklığı 80 °C iken, kaplamalı numune sadece 60 °C'ye ulaşmıştır (Çizelge 1). Bu yaklaşık 20 °C'lik fark, liflerin termal yumuşamasını belirgin biçimde azaltmıştır. Görsel 1, kaplamasız ve kaplamalı numunelerin SEM görüntülerini karşılaştırmaktadır. Kaplamasız lif yüzeyinde sürtünme sırasında bazı liflerin uzamış ve kırık uçlar verdiği gözlenmiştir. Buna karşın kaplamalı lif yüzeyi daha homojen ve pürüzsüz kalmıştır; kopma belirginliği azalmıştır. Bu gözlem, optik profilometre verileriyle de tutarlıdır. Kaplamasız numunede test sonrası $R_a=12.4$ μm 'ye çıkarken, kaplamalıda yalnızca 5.2 μm olmuştur. R_a değerindeki bu yaklaşık %58'lik düşüş, yüzey temas alanının azalmasını ve sürtünme ısısının hafiflemesini yansıtır.

Çizelge 1. Sürtünme deney sonuçları (300 döngü sonrası)

Numune	Maks. yüzey sıcaklığı (°C)	Sürtünme katsayısı (μ)	Çekme dayanımı azalması	R_a (μm)
Kontrol (bitimsiz)	80°C	0.55	%15	12.4
Kaplamalı	60°C	0.44	%5	5.2

FTIR analizinde, kaplamasız lif spektrumu ester ve aromatik bantları içerirken; kaplamalıda ek silikon bantları belirgindir. Özellikle 1020-1100 cm^{-1} 'de belirgin Si–O–Si gerilmesi, 1260 cm^{-1} 'de Si–CH₃ eğilmesi gözlenmiştir. Bu sonuçlar, kaplamanın lif üstünde sürekli bir silikon tabakası oluşturduğunu doğrular. Kaplamasızda gözlenen C=O (1715 cm^{-1}) ve C–O–C (1240 cm^{-1}) bantlarının kaplamalı spektrumda da korunması, polimer yapısının test koşullarında kimyasal bozunmaya uğramadığını gösterir.

Optik profilometre analizi ile yüzey girinti-çıkıntı profillerinin niceliksel olarak ortaya konması hedeflenmiştir. Kontrol yüzeyinde tepeler 12–15 μm iken, kaplamalı yüzeyde 4–6 μm aralığına inmiştir. Bu aralardaki daralma, temasta kalan mikro-çekincelerin azaltıldığını, yani mikro-girişmelerin (microscratches) kaplama tarafından doldurulduğunu gösterir.



Görsel 1. Numunelerin karakterizasyonu

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen deneysel veriler, silikon bazlı kaplamanın emniyet kemeri yüzeyinde sürtünme katsayısını azaltarak ara yüzey ısısının düşmesini ve lif hasarının engellenmesini sağladığını göstermektedir. FTIR ve profilometri sonuçları, kaplamanın lif üzerine homojen olarak yapışıp yüzeyi düzleştirdiğini ortaya koymuştur. Bu sayede ısınma sıfırdan yüze değil, yüzey boyunca dağılmış ve fiber bütünlüğü korunmuştur. Mekanik testlerdeki daha düşük mukavemet kaybı da bu koruyucu etkinin kanıtıdır. Çalışmanın bulguları, emniyet kemeri üreticilerinin düşük sürtünmeli kaplamaları ürünlerine entegre ederek hem ömrü uzatabileceğini hem de maliyet-etkin bir geliştirme yapabileceğini göstermektedir.

Sınırlamalar arasında laboratuvar ölçeğindeki test koşullarının (sabit hız/yük, temiz oda ortamı) gerçeği tam yansıtmayışı sayılabilir. Gelecekte daha yüksek yük ve hızda sürtünme, UV/mekanik yaşlandırma (hızlı oksidasyon) ve farklı kaplama formülasyonları incelenmelidir. Ayrıca gerçek araç kullanımı koşulları (toz, yağ, nem gibi faktörler) altında kaplamanın dayanımı test edilmelidir. Sonuç olarak, bu çalışma sürtünme kaynaklı lif ısınmasına pratik bir çözüm sunmakta; otomotiv güvenliğini artırmaya yönelik kaplama teknolojileri için önemli veriler sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Gong, R. H., & Shekhani, A. K. (2005). Fibre thermal damage in ring spinning. Research Journal of Textile and Apparel, 9(3), 40–44.
- [2] Xuli Textile. (2025). What makes seat belt webbing so strong and durable?. Erişim: <https://www.xulitextile.com/what-makes-seat-belt-webbing-so-strong-and-durable/>

OTOMOTİV KOLTUK DÖŞEMELERİ İÇİN ZnO/Ag ANTİBAKTERİYEL ve KOKU GİDERİCİ BİTİMLERİN ETKİNLİĞİ VE DAYANIMI

Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ

Çukurova Üniversitesi

ozlemerdem@cu.edu.tr - 0000-0002-0976-2162

Prof.Dr. Ali Can YILMAZ

Çukurova Üniversitesi

acyilmaz@cu.edu.tr - 0000-0001-9832-9880

ÖZET

Araç içi koltuk dokularında biriken bakteriler ve kötü kokular hem yolcu konforunu hem de hijyenik ortamı olumsuz etkiler. Bu çalışmada, polyester koltuk döşeme kumaşlarına çinko oksit (ZnO) ve gümüş (Ag) nanoparçacıklar içeren bitimler uygulanmıştır. Bitim işlemi sırasında polimerik bağlayıcı eşliğinde birleştirilmiş ZnO NP'ler ile Ag NP'ler kumaş üzerine pad-dry-cure yöntemiyle kaplanmıştır. Bitimli ve bitimsiz numuneler, evsel yıkama (ISO 6330, 40 °C) ve Martindale aşındırma testlerine tabi tutulmuştur. Antibakteriyel etkinlik, *Escherichia coli* (*E. coli*) ve *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) için bakteri süspansiyonlarıyla inokülasyon ve organoleptik koku değerlendirilmesiyle ölçülmüştür. Karakterizasyonda SEM/EDX ölçümleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, ZnO/Ag bitimli kumaşların başlangıçta her iki bakteri türünü >90 % oranında inaktive ettiğini; 5 yıkama sonrası etkide yaklaşık %10–20 'lik azalma olmasına rağmen >%70 antibakteriyel etkinlik sergilediğini göstermiştir. Sürtünme (5000 döngü) sonrası aktivite %60–80 aralığında korunmuştur. Koku testlerinde kaplamalı kumaş, kontrol kumaşa kıyasla hem indol/skatol gibi model kokuları daha etkin absorbe etmiş hem de giysi panelinde belirgin koku azalması sağlanmıştır. Bu bulgular, ZnO/Ag bitimlerin otomotiv koltuklarında uzun süreli mikrobiyal kontrol ve koku giderme için uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv koltuk kumaşı, ZnO/Ag nanoparçacık bitim, antibakteriyel ve anti-odor dayanım

1. GİRİŞ

Otomotiv iç döşemeleri, yolcularla sürekli temas eden ve ter, yağ gibi kirleticilerin birikebileceği yüzeylerdir. Bu ortam, bakteriyel çoğalma ve koku oluşumu için elverişli hale gelir. Özellikle COVID-19 pandemi döneminden sonra araç içi hijyenine duyulan ilgi artmış; antibakteriyel ve koku giderici bitimler önemli bir araştırma konusu olmuştur. Antibakteriyel tekstil kaplamaları, yüzeylerde bakteri kolonileşmesini engelleyerek enfeksiyon riskini azaltabilir. Yapılan bir çalışmada, mekanik ve termal yaşlandırma simülasyonlarının (otomobil

kullanımını taklit eden oturma ve temas) antimikrobiyal etkinliği düşürmediğini; yalnızca UV maruziyetinin yüzey değiştirerek etkinlik kaybına yol açtığını bildirmiştir [1]. Bu sonuç, uygun materyal ve bitim seçiminin araç içi dayanımı sağlamadaki önemini vurgulamaktadır.

Metal nanopartiküller, antibakteriyel tekstil bitimlerinde sıkça tercih edilmektedir. Gümüş nanoparçacıklar (Ag NP), geniş spektrumlu antimikrobiyal aktiviteye sahiptir ve hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakterileri kısa sürede inaktive edebilmektedir. Richardson ve ark., gümüş-tanin (Ag/TA) kaplamaların 5 yıkama sonrasında bile geniş kapsamlı bakteriyel ve mantar aktivitesini koruduğunu ve giysilerdeki kokuları en az 10 yıkamaya kadar önlediğini göstermiştir [2]. Çinko oksit nanoparçacıkları (ZnO NP) ise biyouyumlu olması, UV ışınımına karşı koruma sağlaması ve fotokatalitik özellikleriyle öne çıkar. Lebaka ve ark. tarafından sunulan derleme çalışmasına göre, ZnO NP içeren tekstiller hem koku gideriminde hem de enfeksiyon kontrolünde kullanılmıştır [3]. ZnO ve Ag kombinasyonu, birbirini tamamlayıcı etki ile antimikrobiyal performansı artırabilir [4].

Ancak tekstil uygulamalarında bitimlerin dayanımı kritik bir sorundur. Yıkama ve aşınma süreçleri, nanoparçacıkların kumaş yüzeyinden kopmasına ve etkinliğin azalmasına neden olur. El-Nahhal ve arkadaşları nişasta bağlayıcı yardımıyla ZnO kaplı pamukta yaptıkları çalışmada, 10 yıkama sonrası dahi ZnO'nun önemli bir kısmının yüzeyde kaldığını gözlemiş ve antimikrobiyal etkinlikte yüksek stabilite rapor etmiştir [4]. Benzer şekilde, uçucu bitkisel reçinelerle oluşturulan metal-fenolik Ag kaplamaları da 10 yıkamaya (ve 10 kez giyme) dayanarak kokuyu büyük ölçüde önlemiştir [2]. Özetle, otomotiv tekstilinde kullanılacak antibakteriyel/anti-koku bitimlerin sağlam bir kimyasal bağlayıcı sistemi ve ince yapı kontrolü ile formüle edilmesi, hem etkinlik hem de uzun ömür açısından gereklidir. Bu çalışmada, polyester koltuk döşeme kumaşlarına ZnO/Ag içeren bitim uygulanarak, bitim etkinliği ve yıkama/sürtünme dayanımı incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler

Test ortamında polyester dokuma koltuk kumaşı (300 g/m²) kullanılmıştır. ZnO nanoparçacıkları (ortalama çap ~20–50 nm, saf oksit) ticari olarak temin edilmiş; Ag NP'ler ise %0.1 Ag içeren sulu solüsyon formunda sağlanmıştır. Bağlayıcı olarak %2 polivinil alkol (PVA) ile karıştırılmış %1 benzilalkonyum klorür kullanılmıştır.

2.2. Bitim Uygulama Yöntemi

Kumaş örnekleri, içeriğinde ZnO NP (5–10 g/L) ve Ag NP (0.5–1 g/L) bulunan bitim banyosuna daldırılarak emdirilmiştir. Pad işlemiyle %80 pick-up sağlanacak şekilde sıkıştırılmıştır. Numuneler öncelikle 80 °C'de 3 dk kurutulmuş, ardından 160 °C'de 2 dk kürlenmiştir. Böylece metal NP'ler yüzeye sabitlenmesi sağlanmıştır. Her deney grubu için (kontrol, yalnız ZnO, yalnız Ag, ZnO+Ag) üçer paralel numune hazırlanmıştır.

2.3. Yıkama ve Sürtünme Test Prosedürleri

Bitimli kumaşlar evsel yıkama koşullarında test edilmiştir. ISO 6330 standardına uygun olarak 40 °C'te 30 dk devirli olarak yıkanmıştır (pH~10 deterjanlı banyo, Sinner süreci: sürtünme ve

ısı kombine edildi). Her numune 5, 10, 20 yıkama döngüsüne tabi tutulmuştur. Yıkama sonrası numuneler durulanıp kurutuldu.

Aşınma dayanımı için Martindale aşındırma testi uygulanmıştır. Her kumaş, 9.81 kPa yük altında, 5000 ve 10000 döngü kuru sürtünmeye maruz bırakılmıştır.

2.4. Antibakteriyel ve Koku Ölçüm Yöntemleri

Antibakteriyel etkinlik ISO 20743 (pamuk kumaşlar için) uyarınca test edilmiştir. *E. coli* ATCC 25922 (Gram-negatif) ve *S. aureus* ATCC 6538 (Gram-pozitif) bakteri suşları kullanılmıştır. Yıkama öncesi ve sonrası numuneler sterilizasyon sonrası bakteri süspansiyonuyla (10^6 CFU/mL) inokule edilmiştir. 37 °C’de 24 saat inkübe edildikten sonra canlı bakteri sayısı seyreltme ve kültür ile belirlenmiştir. Bakteri azalış oranı R (%) = [(Kontrol log CFU – Numune log CFU)/Kontrol log CFU]×100 formülüyle hesaplanmış, %90’ın üzeri yüksek etkinlik olarak kabul edilmiştir.

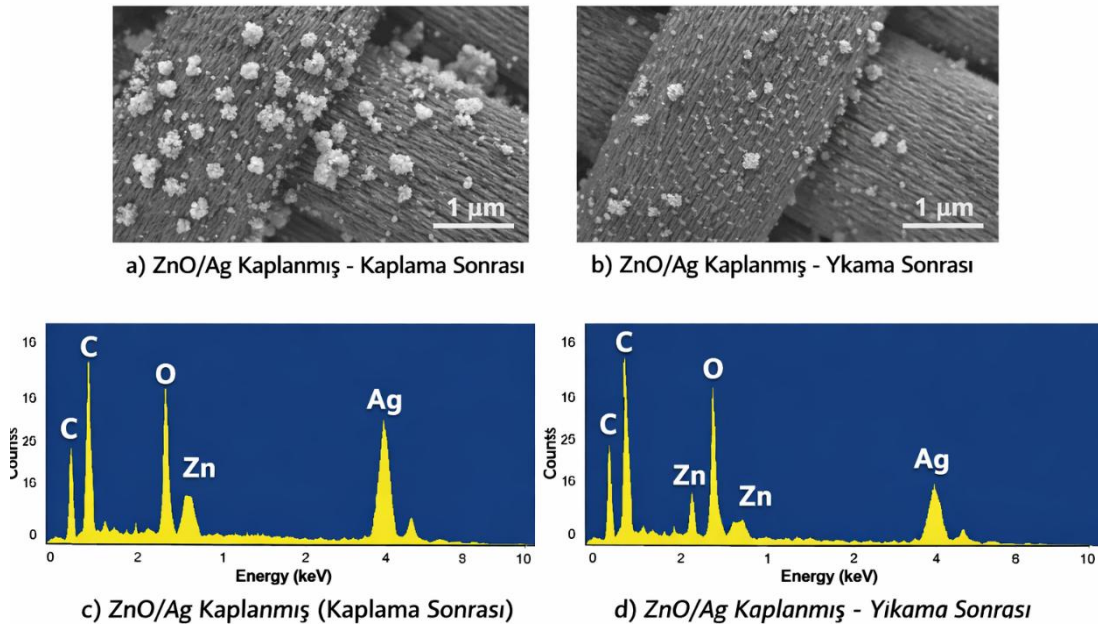
Kumaş numunelerine yapay ter ve idrar bileşikleri (indol, skatol, isovalerik asit vb.) emdirilmiş ve belirli süre inkübasyona alınmıştır. Numunelere kontrollü organoleptik koku panel testi (AATCC TM216, 0–10 ölçeği) yapılmıştır.

2.5. Karakterizasyon Teknikleri

Bitimli numunelerin yüzey morfolojisi SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) ile incelenmiştir. EDX ile element haritalaması yapılarak Zn ve Ag’nin varlığı doğrulanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

SEM görüntülerinde ZnO NP’lerin (~20–50 nm) lif yüzeyine homojen dağıldığı görüldü. Bitim sonrası kumaş yüzeyi hafif pürüzlüleşmiş, EDX haritasında belirgin Zn ve Ag sinyalleri izlenmiştir. Yıkama ve sürtünme sonrası SEM’de bazı ZnO parçacıklarının yüzeyden ayrıldığı gözlenirken, liflere bağlanabilen bir kısmının kaldığı tespit edilmiştir (Görsel 1).



Görsel 1. Kaplı numunenin yıkama öncesi ve sonrası SEM/EDX görüntüleri

Antibakteriyel test sonuçları Çizelge 1’de özetlenmiştir. Başlangıçta ZnO/Ag kaplamalı kumaşların *S. aureus* ve *E. coli* üzerinde sırasıyla %95 ve %92’lik yüksek etkinlik sağladığı bulunmaktır. 10 yıkamadan sonra bile R değerlerinin %60–70 dolayında olduğu görülmüştür. Kontrol kumaşlarda ise %10’nun altına kalmıştır. Yani uygun bağlayıcı ile kaplanan ZnO/Ag NP’ler, birden fazla yıkamayı tolere edebilmektedir. Martindale aşındırma testi sonrası da antimikrobiyal aktivite kabul edilebilir seviyede kalmış; 5000 siklus kuru ovma sonrası bile *E. coli* indirgeme $\approx$ %50 civarında sürmüştür.

Çizelge 1. *E. coli* ve *S. aureus* için antibakteriyel indirim oranları (R %) başlangıçta ve 10 yıkama sonrası

Numune	<i>E. coli</i> azalışı (%) (Başlangıç)	<i>E. coli</i> azalışı (%) (10 Yıkama)	<i>S. aureus</i> azalışı (%) (Başlangıç)	<i>S. aureus</i> azalışı (%) (10 Yıkama)
Kontrol (bitimsiz)	8	5	10	6
ZnO/Ag kaplama	92 $\pm$ 3	65 $\pm$ 5	95 $\pm$ 2	70 $\pm$ 4

Koku giderimi testlerinde ZnO/Ag kaplamalı kumaş, model kokulu bileşiklerin %85–90’ını nötralize etmiştir. İsovalerik asit ölçümünde kaplamalı numunede belirgin düşüş (kontrasta göre $\approx$ %80 azalma), organoleptik testte ise koku puanı 10 giyme/yıkama sonunda ortalama 2 civarında kalmıştır. Kontrol kumaşta aynı koşullarda koku puanı 5–6 düzeyinde gözlemlendi. Kaplamamız benzer anti-odor etkisi göstermiştir. Koku giderici etkide ZnO’nun katalitik oksidatif katkısı ve Ag’nin bakterilere bağlı koku önleme özelliği bu etkiyi oluşturmuştur. SEM/EDX sonuçları, yıkama sonrası bile ZnO ve Ag’nin yüzeyde kaldığını göstermiş; bu da koku kontrolünün devamını açıklamıştır.

Genel olarak ZnO/Ag bitim, yüksek başlangıç antimikrobiyal etkinlik ve koku önleme sağlarken, 10–20 yıkama döngüsünde etkinliğin yarıya düşmesi kabul edilebilir bir performanstır. Bu sonuçlar, otomotiv koltuklarında gündelik yıkamaya ve mekanik temasa dayanıklı hijyenik yüzeyler oluşturulabileceğini göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, polyester koltuk döşeme kumaşlarına uygulanan ZnO/Ag nanoparçacık bitimleri, hem antibakteriyel etkinlik hem de koku giderme özellikleri açısından başarılı bulunmuştur. Karışık ZnO/Ag kaplama, iki tür bakteriyi başlangıçta $\approx$ %90 civarında baskılamış; 10 yıkama sonrası etkinliğin hala %60–70 aralığında kalması önemli bir dayanım sağlar. Çalışma, otomotiv döşemelerinde kullanılabilecek dayanıklı, nötr pH bitim formülasyonlarının geliştirilebileceğini göstermiştir.

Elde edilen veriler, ZnO/Ag nanopartiküllü bitimlerin araç içi dokularda kullanılması için ümit vericidir. Bu kaplamalar, duş alma veya kirlilik sonrası koltukların kendiliğinden steril

kalmasını destekleyebilir. Çalışmanın sınırlamaları arasında; laboratuvar koşullarının gerçeği tam karşılamaması, koku testlerinin nispeten sınırlı bileşenlerle yapılması sayılabilir. Gelecekte gerçek ter kokusu bileşenleri, farklı lif türleri (poliamid, deri vs.) ve uzun dönem yıka-aşınma döngüleri ile testler önerilmektedir. Ayrıca bitimin insan cildine etkisi, Ag salınımı ve çevresel güvenlik de kapsamlı incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Arese, M., Mania, I., Brunella, V., Lambertini, V. G., & Gorra, R. (2024). Evaluation of aging effect on the durability of antibacterial treatments applied on textile materials for the automotive industry. *ACS Omega*, 9(25), 27169–27176.
- [2] Richardson, J. J., Liao, W., Li, J., Cheng, B., Wang, C., Maruyama, T., Tardy, B. L., Guo, J., Zhao, L., Aw, W., & Ejima, H. (2022). Rapid assembly of colorless antimicrobial and anti-odor coatings from polyphenols and silver. *Scientific Reports*, 12, 2071.
- [3] Lebaka, V. R., Perugu, R., Reddy, M. C., Thummala, C., & Mandal, T. K. (2025). Zinc oxide nanoparticles in modern science and technology: Multifunctional roles in healthcare, environmental remediation, and industry. *Nanomaterials*, 15(10), 754.
- [4] El-Nahhal, I. M., Al-Jamal, F., & Holail, H. (2020). Preparation and antimicrobial activity of ZnO-NPs coated cotton/starch and their functionalized ZnO-Ag/cotton and Zn(II) curcumin/cotton materials. *Scientific Reports*, 10, 5410.

KAPALI ORTAM HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRMESİ VE HAVALANDIRMA PERFORMANSI: CFD TABANLI HAVA AKIŞI ANALİZİ VE HAVADAN BULAŞAN ENFEKSİYON RİSKİ MODELLEMESİ

Tuğçe TEZEL

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya,
Türkiye

ORCID ID 0000-0003-0139-442X

tugcetezel@akdeniz.edu.tr

Volkan KOVAN

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya,
Türkiye

ORCID ID 0000-0002-0599-525X

kovan@akdeniz.edu.tr

ÖZET

COVID-19 pandemisi, kabul edilebilir kapalı ortam hava kalitesinin sağlanmasında kullanılan geleneksel havalandırma yaklaşımlarının önemli sınırlamalarını ortaya koymuştur. Hastaneler, okullar, ofisler ve ulaşım tesisleri gibi birçok kapalı ortamda havalandırma performansı genellikle hava değişim sayısı ve tam karışmış hava varsayımı temelinde değerlendirilmektedir. Ancak bu basitleştirilmiş göstergeler, kirletici taşınım davranışını ve buna bağlı maruziyet riskini yeterince temsil edememektedir. Bu nedenle havalandırma performansının, hava akış dağılımı karakteristikleri ve risk odaklı ölçütler temelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu derleme çalışması, kapalı ortamlarda havadan taşınan kirleticilerin yayılımını ve maruziyet dinamiklerini analiz etmek amacıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, çok bölgeli hava akışı modellemesi ve Wells–Riley tabanlı enfeksiyon riski modellerini kullanan güncel çalışmaları incelemektedir. Literatür bulguları, havalandırma konfigürasyonunun ve hava akış organizasyonunun kirletici taşınımını ve uzaklaştırma verimini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Temiz havanın doğrudan solunum bölgesine verildiği stratum havalandırma sistemleri, geleneksel karışım havalandırmasına kıyasla daha yüksek kirletici uzaklaştırma performansı sergilemektedir. Ayrıca dönüş hava menfezlerinin konumlandırılması, kirletici konsantrasyonunun zamanla azalım hızını önemli ölçüde etkilemektedir. Taşınabilir hava temizleyicilerin performansının ise emisyon kaynağına göre konumlandırılmasına büyük ölçüde bağlı olduğu görülmektedir. Üst oda ultraviyole mikrobiyal dezenfeksiyon sistemleri ise kontrollü hava sirkülasyonu ile desteklendiğinde daha yüksek etkinlik göstermektedir.

Bu çalışma ayrıca hava değişim sayısı (ACH) ve hava yaşı (age of air) gibi geleneksel havalandırma göstergelerinin sınırlamalarını ortaya koymakta ve daha güvenilir kapalı ortam hava kalitesi değerlendirmesi için Hava Kullanım Etkinliği (Air Utilization Effectiveness –

AUE) ve Kirletici Dağılım İndeksi (Contaminant Dispersion Index – CDI) gibi gelişmiş indekslerin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Hava dağılım etkinliği, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), Havadan bulaşan enfeksiyon risk modellemesi, Çok bölgeli hava akışı modellemesi, Kirletici dağılım indeksi (CDI)

INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT AND VENTILATION PERFORMANCE: A REVIEW OF CFD-BASED AIRFLOW ANALYSIS AND AIRBORNE INFECTION RISK MODELING

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has highlighted important limitations of conventional ventilation approaches for maintaining acceptable indoor air quality (IAQ). In many indoor environments such as hospitals, schools, offices, and transportation facilities, ventilation performance is commonly evaluated using air change rates (ACH) and the assumption of fully mixed air. However, these simplified indicators may not adequately represent contaminant transport behavior and the resulting exposure risk. Therefore, ventilation performance should be assessed based on airflow distribution characteristics and risk-oriented metrics.

This review synthesizes recent studies employing Computational Fluid Dynamics (CFD), multizone airflow modeling, and Wells–Riley–based infection risk models to analyze airborne contaminant dispersion and exposure dynamics in indoor spaces. The literature shows that ventilation configuration and airflow organization strongly influence contaminant transport and removal efficiency. Stratum ventilation systems supplying fresh air directly to the breathing zone demonstrate improved contaminant removal compared with conventional mixing ventilation. In addition, the placement of return air grilles significantly affects contaminant decay rates. The performance of portable air cleaners is also highly dependent on spatial positioning relative to emission sources, while upper-room ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) systems show enhanced effectiveness when supported by controlled air circulation.

The review further highlights the limitations of traditional ventilation indicators such as ACH and age of air and emphasizes the importance of advanced indices, including Air Utilization Effectiveness (AUE) and the Contaminant Dispersion Index (CDI), for more reliable indoor air quality assessment.

Key words : Air distribution effectiveness, Computational fluid dynamics (CFD), Airborne infection risk modeling, Multizone airflow modeling, Contaminant dispersion index (CDI)

1. Giriş

Kapalı alanlardaki İç Hava Kalitesi (IAQ) ve havadan bulaşan aerosollerin dinamikleri, yalnızca teorik bir mühendislik problemi değil; doğrudan insan sağlığı, güvenliği ve konforu

ile ilişkili çok katmanlı bir tasarım sorunudur. Özellikle okullar, hastaneler ve ticari ofisler gibi yüksek doluluk oranına sahip yapıları çevrelerde, yetersiz havalandırma koşulları yalnızca viral yükün artmasına değil, aynı zamanda çalışanların bilişsel performansının düşmesine, devamsızlık oranlarının artmasına ve uzun vadede mesleki maruziyet risklerinin büyümesine neden olmaktadır (Yan vd., 2023). Bu bağlamda IAQ, salt bir “konfor parametresi” olmaktan çıkmış; halk sağlığı mühendisliğinin merkezine yerleşmiştir.

Geleneksel “tam karışım” (well-mixed) havalandırma varsayımları, mekânın her noktasında kirletici konsantrasyonunun homojen olduğunu kabul eder. Oysa gerçek iç ortamlar; türbülanslı akış, ısı kaynakları, insan hareketi ve lokal hava akımları nedeniyle yüksek derecede heterojendir. Bu durum, aerosollerin mekânsal dağılımının ve yerel maruziyet risklerinin yanlış tahmin edilmesine yol açarak, HVAC tasarımı ve filtreleme stratejilerinin etkinliğini sınırlandırmaktadır (Mellon vd., 2023).

Literatür, yalnızca hava değişim oranının (ACH) artırılmasının yeterli olmadığını; hava akış paternlerinin bilinçli şekilde yönlendirilmesinin kritik olduğunu göstermektedir. Karışım sistemleri kirleticileri hacim boyunca seyreltirirken, stratum havalandırma gibi hedeflenmiş yaklaşımlar solunum bölgesine odaklanarak enfeksiyon riskini daha etkin azaltabilmektedir (Lu vd., 2020). Buna ek olarak, HEPA filtreli taşınabilir cihazlar (PAC) ve üst oda UVGI sistemleri, doğru konfigürasyon ve konumlandırma ile aerosol konsantrasyonlarını anlamlı düzeyde düşürmektedir (Pei vd., 2024; Park vd., 2023).

Bu derleme, insan merkezli bir mühendislik perspektifiyle; tasarım parametrelerini, performans metriklerini ve CFD tabanlı risk modelleme yaklaşımlarını bütüncül biçimde sentezleyerek, uygulamaya dönük karar süreçlerine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. Modelleme Metodolojileri ve Simülasyon Araçları

Ürün geliştirme ve sistem optimizasyonunda, özellikle gerçek kullanıcıların bulunduğu iç ortamlarda deneysel çalışmalar çoğu zaman yüksek maliyet, zaman kısıtı ve etik sınırlamalar nedeniyle zorlayıcıdır. Bu nedenle, gelişmiş sayısal modelleme yaklaşımları yalnızca bir araştırma aracı değil; karar vericiler için stratejik bir tasarım destek sistemi haline gelmiştir. Özellikle pandemi sonrası dönemde, bir sınıfın, hastane odasının ya da açık ofisin hava akışının fiziksel olarak test edilmesi yerine, güvenilir simülasyonlarla öngörülmesi mühendislik pratiğinin temel bileşenlerinden biri olmuştur.

2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Yaklaşımları

İncelenen çalışmalarda, iç mekân hava akışını ve aerosol taşınımını modellemek için ağırlıklı olarak Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS) tabanlı türbülans modelleri (örneğin RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ) tercih edilmiştir (Tipnis vd., 2024; Ren vd., 2022). Bu modeller, mühendislik uygulamalarında doğruluk–hesaplama maliyeti dengesi açısından pratik bir çözüm sunmakta ve özellikle HVAC konfigürasyonlarının karşılaştırmalı analizinde etkin şekilde kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, karmaşık geometrilere sahip ortamlarda (insan varlığı, mobilya yerleşimi, cihaz konumları gibi) ve ısı transferinin akış alanını belirgin biçimde etkilediği durumlarda, Lattice-Boltzmann Metodu (LBM) gibi ileri tekniklerin de başarıyla uygulandığı görülmektedir (Mellon vd., 2023). Polihedral (polyhedral) ağ yapılarının kullanımı ise, insan vücudu çevresindeki sınır tabaka davranışı ve lokal jet etkileri gibi hassas akış bölgelerinin daha kararlı ve hesaplama açısından verimli biçimde çözülmesini mümkün kılmaktadır (Pei vd., 2024). Bu yaklaşım, özellikle solunum bölgesi çevresindeki maruziyetin doğru tahmini açısından kritik öneme sahiptir.

2.2. Çok Bölgeli ve Risk Modellemesi

Tek bir odanın ötesine geçildiğinde, bina genelindeki kirletici yayılımının anlaşılması için CONTAM gibi çok bölgeli simülasyon araçları tercih edilmektedir. Bu tür modeller, sınıflar, hasta odaları ve koridorlar arasındaki basınç farklarına bağlı hava değişimlerini ve potansiyel patojen transferini simüle etmede etkilidir (Park vd., 2025; Yan vd., 2023). Böylece, bir mekânda alınan mühendislik önleminin bina ölçeğinde nasıl bir sonuç doğuracağı öngörülebilmektedir.

Enfeksiyon riski ise genellikle Wells–Riley denkleminin CFD veya çok bölgeli model çıktılarıyla entegre edilmesi yoluyla, “quanta” (enfeksiyöz doz) kavramı üzerinden hesaplanmaktadır (Tipnis vd., 2024). Bu entegrasyon, yalnızca hava akışının nasıl davrandığını değil; bu akışın insanlar açısından ne anlama geldiğini ortaya koyar. Başka bir ifadeyle, modelleme çalışmaları fiziksel parametreleri sağlık çıktılarıyla ilişkilendirerek, mühendislik tasarımını doğrudan risk azaltımına odaklayan insan merkezli bir çerçeve sunmaktadır.

3.Hava Dağıtım Stratejilerinin Performans Karşılaştırması

Farklı havalandırma tipleri, aerosollerin tahliyesi ve maruziyet riski üzerinde belirgin farklar yaratmaktadır. Bu fark yalnızca teorik akış rejimlerinden ibaret değildir; doğrudan bir öğrencinin sınıfta maruz kaldığı viral yükü, bir hastanın yoğun bakım odasındaki enfeksiyon riskini ya da bir ofis çalışanının gün boyu soluduğu hava kalitesini belirler. Dolayısıyla hava dağıtım stratejisi seçimi, enerji verimliliği ile birlikte halk sağlığı çıktıları açısından da değerlendirilmelidir.

3.1. Stratum Havalandırma (Stratum Ventilation - SV)

Taze havanın doğrudan solunum seviyesine (yerden yaklaşık 1.3–1.7 m yükseklik) verildiği stratum havalandırma, özellikle yatan hasta koşulları ve yüksek doluluklu alanlarda dikkat çekici performans göstermektedir. Karşılaştırmalı analizler, SV sistemlerinin karışım (mixing), deplasmanlı (displacement) ve aşağı yönlü (downward) havalandırma stratejilerine kıyasla, solunum bölgesindeki kirletici konsantrasyonunu daha düşük tuttuğunu ve kirletici uzaklaştırma etkinliğinin (CRE) daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Lu vd., 2020; Lu vd., 2022).

Bu yaklaşımın temel avantajı, tüm hacmi homojen biçimde seyreltmeye çalışmak yerine, insanın nefes aldığı mikro-çevreyi hedeflemesidir. Böylece hem enfeksiyon riski azaltılmakta hem de gereksiz hacimsel enerji tüketimi sınırlanabilmektedir.

3.2. Deplasmanlı Havalandırma (Displacement Ventilation - DV) ve Isıtma Zorlukları

Deplasmanlı havalandırma (DV), özellikle soğutma modunda yüksek iç hava kalitesi ve enerji verimliliği sunmaktadır. Soğuk ve temiz hava zemine yakın seviyeden verilerek yukarı doğru doğal konveksiyon akımlarıyla kirleticilerin taşınması sağlanır. Ancak ısıtma modunda sistem performansı karmaşıklaşmaktadır. Sıcak havanın tavanda birikmesi ve kirleticilerin solunum seviyesinde “kilitlenmesi” (lock-up phenomenon) riski, hem konforu hem de hijyenik performansı olumsuz etkileyebilmektedir. Bu soruna karşı geliştirilen dikey indüksiyon üniteleri (vertical induction units) ile desteklenen “dolaylı deplasmanlı havalandırma” stratejilerinin, kış koşullarında dahi etkin bir hava kalitesi ve termal konfor sağladığı gösterilmiştir (Sheng vd., 2024). Bu hibrit yaklaşım, akış fiziğini kontrollü biçimde yönlendirerek DV sistemlerinin mevsimsel sınırlamalarını azaltmaktadır.

3.3. Merkezi Olmayan Sistemler

Mevcut okul binalarının renovasyonunda veya tarihi yapıların modernizasyonunda, merkezi HVAC altyapısının kurulması çoğu zaman ekonomik ya da yapısal olarak mümkün değildir. Bu bağlamda, cepheye entegre edilen merkezi olmayan mekanik havalandırma üniteleri pratik ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır.

Araştırmalar, bu sistemlerin hem CO₂ seviyelerini kontrol altında tuttuğunu hem de çapraz bulaşma riskini azaltmada, pencere açmaya dayalı doğal havalandırmaya kıyasla çok daha tutarlı ve öngörülebilir sonuçlar verdiğini göstermektedir (Cardelli vd., 2025). Özellikle dış ortam koşullarının değişken olduğu iklimlerde, kontrol edilebilir mekanik çözümler kullanıcı güvenliği açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Sonuç olarak, hava dağıtım stratejileri yalnızca mühendislik tercihi değil; mekânın kullanım senaryosu, iklim koşulları ve hedeflenen sağlık performansı ile birlikte bütüncül biçimde değerlendirilmesi gereken insan merkezli tasarım kararlarıdır.

4. Filtrasyon ve Hava Temizleme Teknolojileri

Mekanik havalandırmanın yetersiz kaldığı, kapasitesinin sınırlı olduğu ya da mevcut altyapının hızlıca iyileştirilemediği durumlarda, filtrasyon ve aktif hava temizleme teknolojileri kritik bir tamamlayıcı rol üstlenmektedir. Ancak literatür açıkça göstermektedir ki, sistem performansı yalnızca cihazın nominal debisine, filtre sınıfına ya da UV gücüne bağlı değildir; cihazın mekân içindeki konfigürasyonu ve akış alanıyla etkileşimi belirleyicidir. Başka bir ifadeyle, yanlış konumlandırılmış “iyi” bir cihaz, doğru konumlandırılmış “orta seviye” bir cihazdan daha düşük koruma sağlayabilir.

4.1. Taşınabilir Hava Temizleyicilerin (PAC) Konumlandırması

Taşınabilir hava temizleyicilerin (Portable Air Cleaners – PAC) sınıf veya ofis ortamındaki konumu, enfeksiyon riskini doğrudan etkilemektedir. CFD tabanlı çalışmalar, cihazların odanın merkezine veya enfekte kaynağa yakın konumlandırılmasının, köşe bölgelerine yerleştirilmelerine kıyasla aerosol konsantrasyonunu %42.4 ila %91.1 oranında daha fazla azalttığını ortaya koymaktadır (Pei vd., 2024; Duill vd., 2021).

Bu farkın temel nedeni, cihazın oluşturduğu emiş akımının aerosol bulutunu nasıl yakaladığıdır. Köşe konumlandırmalarında, kirli hava önce hacim içinde dolaşmakta ve diğer bireylerin solunum bölgesinden geçebilmektedir. Buna karşılık, kaynak yakınında veya merkezi konfigürasyonda konumlandırılan cihazlar, kirleticiyi daha erken fazda yakalayarak hacimsel yayılımı sınırlandırmaktadır. Ayrıca cihazın hava akış yönünün, kirli havayı diğer öğrencilerin veya çalışanların üzerinden taşımadan emişe yönlendirmesi kritik bir tasarım parametresidir. Bu durum, yalnızca CADR (Clean Air Delivery Rate) değerine bakmanın yeterli olmadığını; akış yönlendirmenin de mühendislik optimizasyonuna dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

4.2. Üst Oda UVGI ve Karıştırma Fanları

Üst oda (upper-room) UVGI sistemleri, doğrudan solunum bölgesine müdahale etmeden, odanın üst hacminde mikroorganizmaların inaktivasyonunu hedefleyen pasif fakat etkili bir stratejidir. Ancak bu sistemlerin performansı, odadaki hava karışım derecesine sıkı sıkıya bağlıdır. Özellikle deplasmanlı havalandırma veya ısıtma modunda olduğu gibi düşük hava hızlarının hâkim olduğu senaryolarda, virüs yüklü aerosoller üst UV bölgesine yeterince taşınamayabilir.

Bu bağlamda, tavan fanları (ceiling fans) veya karıştırıcı fanların (mixing fans) kullanılması, aerosollerin kontrollü biçimde üst bölgeye taşınmasını sağlayarak UVGI etkinliğini %90 seviyelerine kadar çıkarabilmektedir (Park vd., 2023). Kanal içi (in-duct) UVGI sistemleri ise, MERV filtrelerle birlikte çalıştığında, yalnızca tek bir oda değil, tüm bina ölçeğinde enfeksiyon riskini azaltma potansiyeline sahiptir (Yan vd., 2023).

Sonuç olarak, filtrasyon ve hava temizleme teknolojileri bağımsız cihazlar olarak değil; mevcut hava dağıtım stratejisiyle entegre edilmiş, akış fiziği dikkate alınarak konfigüre edilmiş bütüncül sistem bileşenleri olarak değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, mühendislik kararlarını doğrudan insan sağlığı çıktılarıyla ilişkilendiren performans odaklı bir tasarım anlayışını desteklemektedir.

5. Sistem Bileşenlerinin Optimizasyonu ve Tasarım Parametreleri

Hava kalitesinin iyileştirilmesinde her zaman yeni ve karmaşık teknolojilere ihtiyaç yoktur. Çoğu durumda, menfez yerleşimi, emiş noktalarının konfigürasyonu ve basınç dengesi gibi “pasif” tasarım kararları, ek enerji tüketimi olmadan önemli performans artışı

sağlayabilmektedir. Bu nedenle imalatçılar ve sistem tasarımcıları için detay mühendisliği, enfeksiyon kontrolü açısından stratejik bir rol üstlenmektedir.

5.1. Dönüş Havası Menfezlerinin (Return Air Inlets) Yüksekliği

Hastane odalarında yapılan ayrıntılı CFD analizleri, dönüş menfezlerinin yerden yüksekliğinin (0.3 m, 0.7 m, 1.2 m vb.) partikül tahliyesi üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermiştir. Özellikle üstten üfleli sistemlerde, dönüş menfezinin yere yakın konumlandırılması (yaklaşık 0.7–1.2 m aralığında), partikül geri kazanım oranını artırmakta ve aynı zamanda enerji verimliliğini optimize etmektedir (Ren vd., 2022).

Bu konfigürasyon, kirleticilerin solunum bölgesinden daha kısa bir akış yolu ile uzaklaştırılmasını sağlar. Yanlış yükseklik seçimi ise partiküllerin hacim içinde daha uzun süre askıda kalmasına ve lokal maruziyet riskinin artmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla menfez yüksekliği, yalnızca mimari bir detay değil; doğrudan risk azaltım parametresidir.

5.2. Asansör ve Koridor Tasarımları

Asansör kabinleri ve koridorlar, kısa süreli fakat yoğun maruziyet senaryolarının yaşandığı mikro-ortamlardır. Asansörlerde yapılan analizler, “çekiş” (pull-type) fanların, “itış” (push-type) fanlara kıyasla viral yükü tahliye etmede daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca kapıların açık olduğu sürelerde hava değişiminin maksimize edilmesi, kabin içi kirletici birikimini anlamlı biçimde azaltmaktadır (Tipnis vd., 2024).

Koridorlar ise özellikle hastane ve okul binalarında sınıflar veya hasta odaları arasında patojen transferinde bir “otoban” işlevi görebilmektedir. Koridorun pozitif veya negatif basınç altında tutulması, bitişik mekânlardaki enfeksiyon riskini doğrudan değiştirmektedir. Bazı çalışmalarda, belirli hava akış konfigürasyonlarının “Omega (Ω) vorteks” yapıları oluşturarak kirleticileri lokal bölgelerde hapsedebildiği gösterilmiştir (Liu vd., 2025; Park vd., 2025). Bu tür akış yapıları, öngörülmediğinde beklenmeyen risk artışlarına yol açabilir.

5.3. Retrofit Uygulamaları

Mevcut hasta odalarının negatif basınçlı izolasyon odalarına dönüştürülmesi (retrofit) sürecinde yapılan optimizasyonlar, sağlık çalışanlarının maruziyet riskini doğrudan etkilemektedir. Hava değişim oranının (ACH) 6 seviyesine çıkarılması ve HEPA filtrasyonlu emiş sistemlerinin başucu bölgesine konumlandırılması, dolaylı maruziyet riskini %50’nin üzerinde azaltabilmektedir (Fu vd., 2023; Vega vd., 2024).

Bu sonuçlar, yeni bina tasarımının yanı sıra mevcut yapı stokunun iyileştirilmesinde de mühendislik müdahalelerinin ne kadar kritik olduğunu göstermektedir.

6. Performans Değerlendirme İndeksleri

Geleneksel performans metrikleri olan Hava Değişim Etkinliği (ACE) veya Kirletici Uzaklaştırma Etkinliği (CRE), genel hava kalitesi hakkında bilgi verse de enfeksiyon riskini

doğrudan ve hassas biçimde yansıtmayabilir. Özellikle lokal maruziyet farklılıklarının yüksek olduğu ortamlarda, ortalama değerlere dayalı göstergeler yanıltıcı olabilir.

Bu nedenle, Hava Kullanım Etkinliği (AUE – Air Utilization Effectiveness) ve Kirletici Dağılım İndeksi (CDI – Contaminant Dispersion Index) gibi yeni nesil indekslerin kullanılması önerilmektedir. CDI'nin özellikle maksimum enfeksiyon riskini belirlemede yüksek doğruluk sağladığı rapor edilmiştir (Lu vd., 2022). Bu yaklaşım, tasarım performansını yalnızca “ne kadar hava değiştiği” üzerinden değil, “insanların ne kadar korunduğu” üzerinden değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır.

7. Sonuç

Bu çalışma, kapalı alanlarda havadan bulaşma risklerinin azaltılmasında “tek tip” bir çözüm bulunmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Etkin bir tasarım yaklaşımı; binanın kullanım amacı (okul, hastane, ofis), termal işletim modu (ısıtma/soğutma) ve seçilen hava dağıtım stratejisi (stratum, deplasmanlı, karışım) dikkate alınarak özelleştirilmelidir.

PAC ve UVGI gibi tamamlayıcı teknolojiler, yalnızca doğru konumlandırıldıklarında ve mevcut hava akış paternleriyle uyumlu çalıştıklarında anlamlı bir katmanlı koruma sağlayabilmektedir.

Gelecek tasarım paradigmalarında, enerji verimliliği tek başına yeterli bir performans kriteri olarak görülmemelidir. AUE ve CDI gibi enfeksiyon kontrolüne duyarlı indeksler, HVAC sistemlerinin değerlendirilmesinde temel karar parametreleri haline getirilmelidir. Bu insan merkezli ve performans odaklı yaklaşım, mühendislik tasarımını doğrudan halk sağlığı çıktılarıyla ilişkilendiren yeni bir standart oluşturmaktadır.

8. Kaynakça

- Cardelli, R., Puglisi, G., & Ferrari, S. (2025). Implementing Decentralised Mechanical Ventilation Systems in Existing School Classrooms: A CFD-Based Performance Assessment. *Applied Sciences*, 15, 12350.
- Duill, F.F., Schulz, F., Jain, A., Krieger, L., van Wachem, B., & Beyrau, F. (2021). The Impact of Large Mobile Air Purifiers on Aerosol Concentration in Classrooms and the Reduction of Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 11523.
- Fu, Y., Liu, S., Guo, W., He, Q., Chen, W., Ruan, G., Qian, H., Wang, Y., & Liu, L. (2023). Inhalation exposure assessment techniques on ventilation dilution of infectious respiratory particles in a retrofitted hospital lung function room. *Building and Environment*, 242, 110544.
- Liu, Z., Cai, D., Hu, C., Jiang, L., Wang, Y., Hu, L., Rong, R., Li, S., Liu, J., & Feng, J. (2025). Airborne bioaerosol transmission in hospital waiting corridor: Characteristic, exposure risk and evaluation of prevention strategies. *Journal of Hazardous Materials*, 497, 139802.

- Lu, Y., Oladokun, M., & Lin, Z. (2020). Reducing the exposure risk in hospital wards by applying stratum ventilation system. *Building and Environment*, 183, 107204.
- Lu, Y., Niu, D., Zhang, S., Chang, H., & Lin, Z. (2022). Ventilation indices for evaluation of airborne infection risk control performance of air distribution. *Building and Environment*, 222, 109440.
- Mellon, G., Mahjoub, N., Metivier, F., Osinski, N., Gabassi, A., Delaunier, C., Vanoli, E., Crawford, C., & Le Goff, J. (2023). Enhancing the control of respiratory virus spread: a comprehensive approach integrating airborne virus detection, aerological investigations, and airflow modeling for practical implementation. *Infection Control & Hospital Epidemiology*.
- Park, S., Mistrick, R., Sitzabee, W., & Rim, D. (2023). Effect of ventilation strategy on performance of upper-room ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) system in a learning environment. *Science of the Total Environment*, 899, 165454.
- Park, S., Park, J., & Hwang, J. (2025). Evaluation of Airborne Infection Risk in a School Using Multizone Simulation: Pathogen Transmission Between Students in Different Classrooms Through Corridors. *Aerosol and Air Quality Research*, 25:19.
- Pei, G., Azimi, P., Rim, D., & Allen, J.G. (2024). A CFD study on the effect of portable air cleaner placement on airborne infection control in a classroom. *Environmental Science: Processes & Impacts*.
- Ren, J., Duan, S., Guo, L., Li, H., & Kong, X. (2022). Effects of Return Air Inlets' Location on the Control of Fine Particle Transportation in a Simulated Hospital Ward. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 11185.
- Sheng, S., Yamanaka, T., Kobayashi, T., & Chou, N. (2024). Ventilation efficiency and improvements for displacement ventilation systems during heating: A case study of a ward with vertical induction units. *Building and Environment*, 266, 112037.
- Tipnis, P.M., Chaware, P., & Vaidya, V.G. (2024). Guidelines for elevator design to mitigate the risk of spread of airborne diseases. *Microbial Risk Analysis*, 26, 100289.
- Vega, P.J.O., Lucasoli, A., Mosca, G., Giulietti, R.A., D'Errico, M.M., & Gambale, A. (2024). Conversion of a regular patient room to negative pressure at Ancona university hospital (Italy). A combined experimental and numerical investigation. *Building and Environment*, 258, 111557.
- Yan, S., Wang, L., Birnkrant, M.J., Zhai, Z., & Miller, S.L. (2023). Multizone Modeling of Airborne SARS-CoV-2 Quanta Transmission and Infection Mitigation Strategies in Office, Hotel, Retail, and School Buildings. *Buildings*, 13, 102.

MEYVE VE SEBZE TEMELLİ GIDALARIN 3B YAZDIRILMASINDA SÜREÇ MÜHENDİSLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Tuğçe TEZEL

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya,
Türkiye

ORCID ID 0000-0003-0139-442X

tugcetezel@akdeniz.edu.tr

Volkan KOVAN

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya,
Türkiye

ORCID ID 0000-0002-0599-525X

kovan@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Eklemeli imalat teknolojileri son yıllarda geleneksel mühendislik uygulamalarının ötesine geçerek gıda üretimi alanına da genişlemiş ve yenilebilir malzemelerin dijital olarak kontrol edilen üretimini mümkün kılmıştır. Özellikle meyve ve sebze temelli gıdaların üç boyutlu yazdırılması, bitki kökenli matrislere katmanlı üretim prensiplerinin uygulanmasını sağlayarak yakın-net-şekil (near-net-shape) üretim kavramını gıda sistemlerine taşımaktadır. Sürdürülebilirlik perspektifinden bakıldığında bu yaklaşım, malzeme israfının azaltılması, tarımsal yan ürünlerin değerlendirilmesi ve talep odaklı yerel gıda üretiminin desteklenmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır.

Bu derleme çalışması, meyve ve sebze bazlı formülasyonlara uygulanan eklemeli imalat süreçlerinin temel mühendislik parametrelerini ve çevresel etkilerini incelemektedir. Yarı katı malzemeler olan püre ve macun formundaki gıda matrisleri için ekstrüzyon tabanlı sistemler en uygun yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte inkjet baskı, binder jetting ve seçici lazer sinterleme gibi diğer teknolojiler sıvı veya toz formundaki bileşenlerin yapılandırılmasında ek olanaklar sunmaktadır. Geleneksel gıda işleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında eklemeli imalat, porsiyon kontrolünün iyileştirilmesi, besin içeriğinin özelleştirilebilmesi ve malzeme kullanım verimliliğinin artırılması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır.

Ancak sürdürülebilirlik kazanımları büyük ölçüde süreç verimliliğine bağlıdır. Enerji tüketimi, sınırlı üretim hızları, hijyen gereksinimleri ve ölçeklenebilirlik kısıtları bu teknolojinin karşı karşıya olduğu başlıca mühendislik zorluklarıdır. Genel olarak değerlendirildiğinde, meyve ve sebze temelli gıdaların 3B yazdırılması kaynak verimliliğinin artırılması ve döngüsel gıda üretim sistemlerinin desteklenmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Eklemeli imalat, 3B gıda yazdırma, meyve ve sebze temelli gıdalar, sürdürülebilirlik

PROCESS ENGINEERING AND SUSTAINABILITY ASPECTS OF 3D PRINTING FOR FRUIT AND VEGETABLE-BASED FOODS

ABSTRACT

Additive manufacturing technologies have recently expanded from conventional engineering applications into food production, enabling digitally controlled fabrication of edible materials. In particular, 3D printing of fruit and vegetable-based foods applies layer-by-layer deposition principles to plant-derived matrices, transferring near-net-shape manufacturing concepts to food systems. From a sustainability perspective, this approach offers opportunities to reduce material waste, utilize agricultural by-products, and support localized, demand-driven food production.

This review examines the main process considerations and environmental aspects of additive manufacturing applied to fruit and vegetable-based formulations. Extrusion-based systems are the most suitable technique for semi-solid materials such as purees and pastes, while other technologies—including inkjet printing, binder jetting, and selective laser sintering—provide additional structuring possibilities for liquid or powdered ingredients. Compared with conventional food processing methods, additive manufacturing enables improved portion control, customizable nutritional design, and better material utilization.

However, sustainability benefits depend strongly on process efficiency. Key challenges include energy consumption, limited production rates, hygiene requirements, and scalability constraints. Overall, 3D printing of fruit and vegetable-based foods presents promising potential for improving resource efficiency and supporting circular food production systems.

Key words : Additive manufacturing, 3D food printing, fruit and vegetable-based foods, sustainability.

1. Giriş

Modern toplumda kronik hastalıkların önlenmesi, bağışıklık sisteminin desteklenmesi ve yaşam kalitesinin sürdürülebilir biçimde artırılması doğrudan beslenme alışkanlıklarıyla ilişkilidir. Vitaminler, mineraller, diyet lifleri ve fenolik bileşikler bakımından zengin meyve ve sebzeler; kardiyovasküler hastalıklar, tip-2 diyabet, obezite ve bazı kanser türleri başta olmak üzere pek çok kronik rahatsızlığın riskinin azaltılmasında koruyucu rol oynamaktadır. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi uluslararası kuruluşlar, dengeli bir beslenme modeli kapsamında kişi başına günlük yüksek miktarda meyve ve sebze tüketimini önermektedir (Ricci vd., 2019). Bununla birlikte taze meyve ve sebzeler, hasat sonrası fizyolojik aktivitelerinin devam etmesi, yüksek su içerikleri ve mikrobiyal bozulmaya açıklıkları nedeniyle sınırlı raf ömrüne sahiptir. Küresel ölçekte gıda kayıpları ve israf oranlarının yüksekliği dikkate alındığında, bu ürünlerin

besin değerini koruyarak işlenmesi ve yeniden yapılandırılması sürdürülebilir gıda sistemleri açısından kritik hale gelmiştir. Dolayısıyla tarımsal kaynakların optimum kullanımını sağlayan, atık oluşumunu minimize eden ve besin içeriğini koruyabilen yenilikçi üretim teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Üç boyutlu (3B) gıda baskısı, dijital tasarım verilerinden (CAD) yararlanarak gıda hammaddelerinin bilgisayar kontrollü sistemler aracılığıyla eklemeli imalat prensibiyle şekillendirildiği ileri düzey bir üretim yaklaşımıdır. Rivas-Llamas vd. (2025) tarafından belirtildiği üzere bu teknoloji yalnızca estetik ve geometrik serbestlik sunmakla kalmaz; aynı zamanda kişiselleştirilmiş beslenme ve fonksiyonel gıda üretimi için mühendislik temelli bir altyapı sağlar. Eklemeli imalat sayesinde içerik kompozisyonu, porsiyon kontrolü, makro ve mikro besin dağılımı bireysel metabolik gereksinimlere göre tasarlanabilmekte; böylece yaşa, klinik duruma veya özel diyet ihtiyaçlarına uygun ürünler üretilebilmektedir.

Geleneksel eksiltici imalat veya kalıplama tekniklerinin aksine eklemeli imalat, yalnızca ihtiyaç duyulan miktarda malzeme kullanarak üretim yapar ve bu yönüyle sıfır atık hedefleriyle uyumlu sürdürülebilir bir yaklaşım sunar. Ayrıca süreç parametreleri (nozul çapı, ekstrüzyon basıncı, katman yüksekliği, baskı hızı ve malzeme reolojisi gibi) doğrudan ürünün mikroyapısal organizasyonunu, porozitesini ve mekanik davranışını belirlediğinden, gıda yapısının mühendislik perspektifiyle tasarlanmasına olanak tanır.

Özellikle yutma güçlüğü (disfaji) yaşıyan bireyler, ileri yaş grupları ve yetersiz beslenme riski taşıyan çocuklar için tekstürü kontrollü, çiğneme ve yutma açısından güvenli, görsel olarak cazip ve besin değeri optimize edilmiş ürünlerin üretimi 3B gıda baskısı ile mümkün hale gelmektedir (García-Gutiérrez vd., 2025; Ricci vd., 2019). Bu durum, eklemeli imalatın gıda mühendisliği, beslenme bilimi ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin kesişiminde yer alan disiplinlerarası bir araştırma alanı olarak önemini artırmaktadır.

2. Meyve Ve Sebze Matrislerinin 3B Basılabilirliği ve Hidrokolloid Kullanımı

Eklemeli gıda imalatında yarı katı meyve ve sebze matrisleri için en uygulanabilir yöntem, pistonlu veya vida destekli mekanizmalarla çalışan ekstrüzyon tabanlı 3B baskı sistemleridir (Kozu vd., 2025). Bu sistemlerde malzeme, belirli bir basınç gradyanı altında nozuldan geçirilerek katmanlı biçimde biriktirilir. Sürecin başarısı; nozul çapı, ekstrüzyon basıncı, kesme hızı, katman yüksekliği ve baskı yolunun (toolpath) optimizasyonuna bağlıdır. Ancak bu parametrelerin tek başına ayarlanması yeterli değildir; malzemenin reolojik karakteri süreci belirleyen temel faktördür.

Meyve ve sebze püreleri, yüksek serbest su içeriği (%80–90), düşük kuru madde oranı ve zayıf makromoleküler ağ yapısı nedeniyle doğal halleriyle yapısal kararlılık göstermez (Rivas-Llamas vd., 2025). Bu durum iki kritik probleme yol açar:

- (i) ekstrüzyon sırasında kontrolsüz akış ve filament süreksizliği,
- (ii) ekstrüzyon sonrası katman yayılması ve çökme.

Dolayısıyla basılabilirlik, yalnızca “akışkanlık” değil; kesme altında akabilme ile kesme sonrasında elastik toparlanmanın dengeli biçimde gerçekleşmesini gerektiren çift fazlı bir reolojik optimizasyon problemidir. Bu bağlamda basılabilirlik üç temel mühendislik kriteri ile tanımlanabilir:

1. Nozul içinde stabil ve sürekli filament oluşumu
2. Yatağa bırakıldığında geometrik sadakatin korunması (shape fidelity)
3. Üst katman yükü altında kendi kendini taşıyabilme (self-supporting capacity)

Bu üç kriterin eşzamanlı sağlanabilmesi için sistemin belirli bir akma gerilmesine (τ_0) ve elastik modül değerine (G') sahip olması gerekir. Bu nedenle hidrokolloid ilavesi, basılabilirliği artıran basit bir kıvam düzenleme işlemi değil; su mobilitesinin kontrolü yoluyla mikro-ağ mühendisliğidir.

Ksantan sakızı, CMC, pektin, guar ve aljinat gibi polisakkaritler, serbest suyu immobilize ederek sürekli bir viskoelastik ağ oluşturur. Bu yapı, düşük kesme hızlarında yüksek viskozite ve elastikiyet sağlarken, yüksek kesme hızlarında psödoplastik davranış göstererek ekstrüzyonu mümkün kılar. Başka bir deyişle, hidrokolloidler sistemde kontrollü bir “akış–stabilite geçişi” yaratır. Omedi vd. (2026), pitaya bazlı mürekkeplerde farklı hidrokolloid konsantrasyonlarının su bağlanma dinamiklerini LF-NMR ile analiz etmiş ve %6–9 aralığında ilavenin akma gerilmesini anlamlı biçimde artırdığını göstermiştir. Bu sonuç, basılabilirliğin esasen suyun serbest–bağlı fraksiyon oranına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Yani sorun yalnızca viskozite değil, suyun yapısal olarak immobilize edilmesidir. Araújo vd. (2025) tarafından havuç bazlı sistemlerde ksantan sakızı ve WPI kombinasyonu kullanılarak hem reolojik stabilite hem de mikrobese taşıma kapasitesi artırılmıştır. Bu çalışma, 3B baskının malzeme fonksiyonelleştirme ile yapısal mühendisliği entegre edebildiğini göstermektedir. İşleyici ve Yavuz (2025) ise aquafaba destekli sistemlerde hava fazının kontrollü entegrasyonu ile çok fazlı (katı–sıvı–gaz) yapılar elde etmiş ve karmaşık geometrilerde stabil baskı gerçekleştirmiştir. Bu bulgu, basılabilirliğin yalnızca viskozite artırımı ile değil; faz dağılımının kontrolü ile de optimize edilebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak literatür, meyve-sebze bazlı mürekkeplerin basılabilirliğinin tek parametreliliği bir kıvam ayarlaması değil; su mobilitesi, viskoelastik ağ tasarımı, faz stabilizasyonu ve fonksiyonel bileşen entegrasyonunun birlikte optimize edilmesini gerektiren çok parametreliliği bir mühendislik problemi olduğunu ortaya koymaktadır.

3. Reolojik Karakterizasyon ve Matematiksel Modelleme

Eklemeli gıda imalatında sürecin öngörülebilirliği, malzemenin reolojik davranışının matematiksel olarak modellenmesine bağlıdır. Baskı sırasında malzeme nozul içinde yüksek kesme hızına maruz kalırken, ekstrüzyon sonrasında düşük kesme koşullarına geçer. Bu nedenle sistem, kesme ile inceltme (shear-thinning) davranışı göstermeli; ancak aynı zamanda belirli bir akma gerilmesine sahip olmalıdır.

Macunsu gıda mürekkepleri çoğunlukla Herschel–Bulkley modeli ile ifade edilir:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$$

Burada τ_0 yapısal stabiliteyi, K kıvam katsayısını, n ise akış davranış indeksini temsil eder. $n < 1$ olduğunda psödoplastik davranış söz konusudur. Bu parametrelerin optimizasyonu, basılabilirlik penceresinin belirlenmesinde kritik rol oynar.

Bugday vd. (2025), LAOS (Large Amplitude Oscillatory Shear) testleri ile bezelye proteinli mürekkeplerin büyük deformasyon davranışını analiz etmiş ve Oldroyd-B ile Herschel–Bulkley modellerinin birlikte kullanılmasıyla relaksasyon süresi ve ağ toparlanma kinetiğinin tahmin edilebileceğini göstermiştir. Bu yaklaşım, basılabilirliğin deneysel gözleme dayalı değil; parametrik modelleme temelli hesaplanabileceğini ortaya koymaktadır. İşleyici ve Yavuz (2025), aquafaba konsantrasyonunun artışı ile sistemin Power Law davranıştan Bingham-plastik davranışa geçtiğini göstermiştir. Bu geçiş, belirgin bir τ_0 oluşumu ile ilişkilidir ve malzemenin kendi ağırlığını taşıma kapasitesini doğrudan artırmaktadır.

Reolojik karakterizasyonun etkisi yalnızca baskı aşamasıyla sınırlı değildir. Venkatachalam vd. (2026), nişasta türlerinin su bağlama kapasitesinin fırınlama sonrası kırılma davranışını belirlediğini göstermiştir. Ön-jelatinize nişastalar, bikontinü ağ yapısı oluşturarak çatlamayı azaltmaktadır. Bu bulgu, reolojinin baskı sonrası mekanik performansı da belirlediğini göstermektedir.

Optimizasyon stratejileri açısından Lee vd. (2025), Merkezi Kompozit Tasarım yaklaşımı ile su–tuz–nişasta oranlarının ideal basılabilirlik aralığını parametrik olarak belirlemiştir. Bu yöntem, meyve-sebze bazlı sistemlerde formülasyon değişkenlerinin sistematik olarak optimize edilebileceğini göstermektedir.

4. Protein Nişasta Hidrokolloid Etkileşimlerinin Formülasyon Dinamikleri

Meyve ve sebze bazlı 3B baskı mürekkeplerinin performansı, yalnızca hidrokolloid ilavesiyle değil; sistemde oluşturulan çok bileşenli biyopolimer ağ yapısının moleküler organizasyonu ile belirlenmektedir. Bu nedenle protein–nişasta–hidrokolloid etkileşimleri, basılabilirliğin mikro-yapısal temelini oluşturmaktadır.

Protein ilavesi iki temel fonksiyon üstlenir:

- (i) yapısal ağ güçlendirme (network reinforcement)
- (ii) besinsel değer artırımı.

Wei vd. (2026), nişasta–lipit–peynir altı suyu proteini (WP) sistemlerinde lipit/protein oranının moleküler düzeyde hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler üzerinden β -yaprakçık stabilizasyonunu etkilediğini göstermiştir. FTIR analizleri, belirli oranlarda (örneğin 12 g tereyağı : 1 g WP) protein ikincil yapısının düzenlendiğini ve bunun katman çökmesini azaltarak basılan yapıların yük taşıma kapasitesini artırdığını ortaya koymuştur. Bu sonuç, formülasyon tasarımının yalnızca makroskobik kıvam ayarı değil; moleküler konformasyon mühendisliği olduğunu göstermektedir.

Bitkisel proteinlerin entegrasyonu ise hem sürdürülebilirlik hem de yapısal performans açısından önem kazanmaktadır. Lin vd. (2025), kamelya tohumu küspesinden izole edilen proteini ksantan sakızı ile kombine ederek emülsiyon stabilitesini artırmış ve kompleks

geometrilere yüksek şekil sadakati elde etmiştir. Bu çalışma, atık kökenli proteinlerin yalnızca besinsel değil, reolojik açıdan da fonksiyonel olabileceğini göstermektedir. Wang vd. (2026), jackfruit tohumu proteinlerini dekstran ile Maillard reaksiyonu aracılığıyla glikasyona tabi tutarak jel mukavemetini ve emülsifikasyon kapasitesini artırmıştır. Elde edilen sistemlerin disfaji diyetlerine uygun tekstür aralığında stabil kaldığı gösterilmiştir. Bu yaklaşım, kontrollü kimyasal modifikasyonların 3B baskıda tekstür mühendisliği için etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Kou vd. (2025), soya proteini izolatu (SPI) ve buğday gluteni (WG) matrisine astaksantin açısından zengin mikroalg (*Haematococcus pluvialis*) ilave ederek hem antioksidan kapasiteyi hem de viskoelastik dengeyi optimize etmiştir. Bu bulgu, fonksiyonel bileşen entegrasyonunun reolojik dengeyi bozmak zorunda olmadığını; uygun formülasyon ile performansın korunabileceğini göstermektedir.

Enzimatik modifikasyonlar da ağ güçlendirme stratejileri arasında yer almaktadır. Pongsetkul vd. (2026), transglutaminaz (TGase) kullanarak bitkisel proteinler arasında çapraz bağlanmayı indüklemiş ve ¹H-NMR ile SR-FTIR analizleri sonucunda β-yaprakçık oluşumunun arttığını göstermiştir. Bu moleküler reorganizasyon, filament stabilitesini ve baskı çözünürlüğünü doğrudan artırmıştır.

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, 3B baskı mürekkeplerinin formülasyon dinamikleri üç ana düzeyde ele alınabilir:

1. Moleküler düzey: protein konformasyonu ve çapraz bağlanma
2. Mikro-yapısal düzey: sürekli biyopolimer ağ oluşumu
3. Makroskobik düzey: akma gerilmesi ve elastik modül optimizasyonu

Dolayısıyla protein nişasta hidrokolloid etkileşimleri, basılabilirliğin temel belirleyicisi olan çok ölçekli ağ mimarisini şekillendirmektedir.

5. Fonksiyonel Gıdalar, Disfaji Uygulamaları ve Duyusal Performans

3B baskının en kritik klinik uygulama alanlarından biri disfaji hastaları için güvenli tekstür tasarımıdır. Disfajide temel risk, aspirasyon ve boğulmadır; bu nedenle tekstürün standartlaştırılması zorunludur.

García-Gutiérrez vd. (2025), 3B baskı ile üretilen sebze-meyve temelli yemeklerin IDDSI seviye 3 ve 4 kriterlerini sağladığını göstermiştir. Bu bulgu, eklemeli imalatın yalnızca estetik yeniden şekillendirme değil; klinik güvenlik parametrelerine uygun tekstür mühendisliği sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Fonksiyonel zenginleştirme açısından Araújo vd. (2025)'un riboflavin enkapsülasyonu ve Kou vd. (2025)'un astaksantin entegrasyonu, 3B baskının mikrobeyin taşıyıcı platform olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu durum, teknolojiyi salt üretim tekniğinden “kişiselleştirilmiş beslenme platformuna” dönüştürmektedir.

Duyusal kalite ise pazar başarısının belirleyici faktörüdür. Liu vd. (2025), elma püresi ile çavdar-soya formülasyonlarında duyusal kabulün artırılabilirliğini göstermiştir. Hooshmand Rad vd. (2025) ise air-frying işleminin gevreklik ve çiğneme dinamiklerini iyileştirdiğini TDS analizleri ile ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, baskı sonrası proseslerin duyusal performansı

belirlediğini göstermektedir. Dolayısıyla 3B baskı süreci yalnızca ekstrüzyon aşamasından ibaret değildir; formülasyon–baskı–post-processing zinciri birlikte optimize edilmelidir.

6. Çevresel Etkiler ve Döngüsel Ekonomi Bağlamında Eklemeli Gıda İmalatı

Gıda endüstrisinde ortaya çıkan posa, kabuk ve çekirdek gibi yan ürünler; lif, pektin ve polifenol açısından zengindir (Ricci vd., 2019). Rivas-Llamas vd. (2025), bu atıkların su tutma kapasitesi ve jelleşme özellikleri sayesinde 3B mürekkep takviyesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bu yaklaşım, döngüsel ekonomi ilkesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Ancak sürdürülebilirlik yalnızca atık entegrasyonu ile sınırlı değildir. Alternatif protein kaynakları da karbon ayak izini azaltma potansiyeli taşımaktadır. Su vd. (2025), çekirge tozu eklenmiş formülasyonlarda hem besinsel protein oranının arttığını hem de reolojik stabilitenin korunduğunu göstermiştir. Bu tür uygulamalar, geleceğin düşük karbonlu protein sistemleri açısından önemlidir.

Aquafaba örneği (İşleyici ve Yavuz, 2025) ise atık suyun fonksiyonel bir bağlayıcıya dönüştürülebileceğini göstermektedir. Bu tür yaklaşımlar, eklemeli imalatın atık dönüşüm platformu olarak da kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte sürdürülebilirlik değerlendirmeleri enerji tüketimi ve ölçeklenebilirlik analizleri ile desteklenmelidir. Ekstrüzyon sistemlerinin sürekli motor yükü, temizleme (CIP) gereksinimleri ve düşük üretim hızı dikkate alınmadan çevresel üstünlük genellenemez. Dolayısıyla eklemeli gıda imalatı, potansiyel olarak sürdürülebilir bir teknoloji olmakla birlikte; gerçek çevresel kazanım ancak proses enerji optimizasyonu ve ölçek ekonomisi sağlandığında mümkündür.

7. Sonuç

Eklemeli imalat temelli 3B gıda baskısı, meyve ve sebze matrislerinin yüksek su içeriğinden kaynaklanan yapısal zayıflıklarını reolojik ve moleküler mühendislik stratejileriyle aşabilen yenilikçi bir üretim yaklaşımıdır. Hidrokolloid entegrasyonu, protein–polisakkarit etkileşimleri ve enzimatik çapraz bağlama teknikleri sayesinde yeterli akma gerilmesi ve viskoelastik stabilite sağlanarak geometrik sadakati yüksek yapılar üretilebilmektedir. Bu durum, basılabilirliğin basit bir kıvam ayarlaması değil; su mobilitesi ve ağ organizasyonunun kontrollü optimizasyonu olduğunu göstermektedir.

Fonksiyonel bileşenlerin (ör. riboflavin, astaksantin) entegrasyonu ve IDDSI standartlarına uygun tekstür tasarımı, teknolojinin klinik ve besinsel potansiyelini güçlendirmektedir. Bununla birlikte, mikrobiyal stabilite, oksidatif bozulma, enerji tüketimi ve endüstriyel ölçeklenebilirlik gibi konular çözülmesi gereken temel mühendislik alanlarıdır.

Sonuç olarak, meyve ve sebze yan ürünlerinin ve alternatif protein kaynaklarının 3B baskı mürekkeplerine dönüştürülmesi; uygun proses optimizasyonu ile birlikte ele alındığında, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir gıda üretimi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır.

8. Kaynaklar

- Araújo, J. F., Fernandes, J.-M., Madalena, D., Gonçalves, R. F. S., Vieira, J. M., Martins, J. T., Vicente, A. A., & Pinheiro, A. C. (2025). Development of 3D-printed foods incorporating riboflavin-loaded whey protein isolate nanostructures: characterization and in vitro digestion. *Food & Function*, 16, 2124-2137.
- Bugday, Y., Alicke, A., Anderson, P., & van der Sman, R. (2025). Understanding the large deformation response of paste-like 3D food printing inks. *Applied Rheology*, 35, 20250042.
- García-Gutiérrez, D., Ayala Márquez, B., Gironés García, X., Molero Muñoz, A., García-Salido, C., Ramírez-Baraldes, E., & Jiménez-Pérez, Y. (2025). Integration of the IDDSI Scale into 3D Food Printing: A Strategy to Improve Food Safety and Quality of Life for People with Dysphagia. *Nutrients*, 17(24), 3925.
- Hooshmand Rad, F., Ghaitaranpour, A., & Pirouzifard, M. (2025). Characterization of dynamic texture perception and the influence of formulation and frying method on bolus features of high-protein 3D printed snacks. *Journal of Food Measurement and Characterization*.
- İşleyici, İ., & Yavuz, N. (2025). 3D-printability of culinary foams prepared with aquafaba powder. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 40, 101175.
- Kou, K., Du, Y., Yao, F., Jia, L., & Chen, F. (2025). Effect of *Haematococcus pluvialis* addition on the rheological property and 3D printing performance of soy protein isolate- and wheat gluten-based pastes. *Journal of Food Science*, 90, e70036.
- Kozu, H., Kamata, T., Umeda, T., Nei, D., & Kobayashi, I. (2025). Characterization of Screw-Based 3D Food Printing Based on Tensile Strength of Paste-Type Food Inks. *Food and Bioprocess Technology*, 18, 5146–5163.
- Lee, J. B., Yoon, N. Y., Bae, Y. J., Kwon, G. Y., Sohn, S. K., Lee, H. R., Kim, H. J., Kim, M. J., Park, H. E., & Shim, K. B. (2025). Optimizing 3D Food Printing of Surimi via Regression Analysis: Physical Properties and Additive Formulations. *Foods*, 14(5), 889.
- Lin, J., Liang, C., Lin, T., Zhong, R., Cao, Y., & Lan, Y. (2025). Optimizing 3D food printing inks: The impact of polysaccharides on *Camellia* seed protein emulsion gels. *Food Hydrocolloids*, 166, 111337.
- Liu, X., Guénard-Lampron, V., Saint-Eve, A., Michon, C., & Blumenthal, D. (2025). 3D printed snack combining rye and soy flour to apple puree: Toward healthier products with improved sensory attributes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 104, 104078.
- Omedi, J. O., Chen, C., Uriho, A., Zhang, S., Liang, L., Zou, Q., Xu, Y., Zhang, M., Wang, Y., & Huang, W. (2026). Effect of type and concentration of hydrocolloids on the rheology, water mobility, and 3D printing properties of pitaya fruit-based ink. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1668661.
- Pongsetkul, J., Watchasit, S., Petcharat, T., Arnold, M., Rajagukguk, Y. V., Kingwascharapong, P., Karnjanapratum, S., Kaewprachu, P., Grossmann, L., Jung, Y. H., Rawdkuen, S., &

- Sai-Ut, S. (2026). Plant-Based Protein Bioinks with Transglutaminase Crosslinking: 3D Printability and Molecular Insights from NMR and Synchrotron-FTIR. *Foods*, 15(2), 322.
- Ricci, I., Derossi, A., & Severini, C. (2019). 3D Printed Food From Fruits and Vegetables. In *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications* (pp. 117-149). Elsevier Ltd. / Academic Press.
- Rivas-Llamas, O. D., Lara-Ceniceros, T. E., Gallegos-Infante, J. A., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quiñones, O. M., Bermúdez-Quiñones, G., & González-Herrera, S. M. (2025). Advances in 3D printing of functional foods: A focus on plant-based inks. *Food and Humanity*, 5, 100852.
- Su, S., Pilavci, E., Yesiloz, Ş. E., Uzuner Demir, A., Sancakli, A., Gunduz, S., Arik Kibar, E. A., Bahar, M. B., & Gunduz, O. (2025). An innovative approach of 3D printed functional foods: Grasshoppers based cookies. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 40, 101137.
- Venkatachalam, A., Wilms, P. F. C., Patón Baeza, J., Schutyser, M. A. I., & Zhang, L. (2026). Formulation of pea-based inks with different starches to produce customized 3D printed and baked snacks. *Current Research in Food Science*, 12, 101320.
- Wang, H., Zhu, X., Hou, Y., Wu, C., Miao, Y., Chen, L., Eang, C., Huang, Z., & Jiang, L. (2026). Development of jackfruit seed protein–dextran conjugates through ultrasound-assisted Maillard reaction for dysphagia diet 3D printing. *Food Research International*, 230, 118565.
- Wei, X., Cheng, L., Liu, W., Liu, Z., Guo, C., Li, L., Cao, W., Duan, X., Ren, G., Guo, W., Chen, W., & Pan, L. (2026). Leveraging butter-whey protein interactions to engineer starch-based inks for high-fidelity 3D food printing. *Journal of Food Engineering*, 407, 112852.

DETERMINATION OF LUMINESCENCE PROPERTIES OF RARE EARTH DOPED KCa₄(BO₃)₃ NANOPHOSPHORS

Yüksek Lisans Öğrencisi/Alara ÇAN¹

Ege Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Nükleer Bilimler Enstitüsü-Nükleer Bilimler A.B.D,

alaracan99@gmail.com - ORCID ID: 0009-0005-0015-5998

Prof.Dr. Ümit Hüseyin Kaynar²

İzmir Bakırçay Üniversitesi

u.h.kaynar@gmail.com – ORCID ID: 0000-0002-3321-0341

Prof.Dr. Elçin Ekdal Karalı³

Ege Üniversitesi

ekdalelcin@hotmail.com – ORCID ID: 0000-0001-8415-6317

ABSTRACT

The purpose of this study which was supported under the TÜBİTAK BİDEB 2211 Domestic Graduate Scholarship Program, is to investigate the effects of Li and/or Na (RE/RE) alkali metal co-doping with rare earth elements on the trap structure and luminescence efficiency of KCa₄(BO₃)₃ nanophosphors synthesized by the combustion method. The thermoluminescence (TL) properties of the KCa₄(BO₃)₃ nanophosphors were systematically examined. Glow curve analyses were performed to evaluate dose–response linearity and the behavior under different heating rates. The dosimetric potential of the material was further assessed through repeatability and fading tests, as well as by analyzing the initial rise region of the glow curves. After irradiation, kinetic parameters including activation energy (E) and frequency factor (s), were determined using glow curve peak analysis methods. The results indicate that Li contribution introduces lattice defects within the crystal structure, leading to the formation of additional trapping centers and altering the trap depth distribution of existing centers. Based on its polar crystal symmetry, KCa₄(BO₃)₃ exhibits efficient energy transfer processes, particularly under ultraviolet excitation, which enhances emission intensity. The developed nanophosphor demonstrates a stable TL response over a broad dose range, indicating its suitability for radiation dosimetry applications and its potential for use in optoelectronic systems. Considering Turkey's rich boron resources, this study stands out for its utilization of local resources, support for sustainable production, and its contributions to industrial, academic and healthcare fields.

Keywords: Luminescence; nanophosphor; rare earth elements; thermoluminescence; optoelectronics

AFYON İLİ DİNAR İLÇESİ İÇME VE KULLANIM SULARINDA RADON ÖLÇÜMLERİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Sevil Nur Şahin

Ege Üniversitesi/Nükleer Bilimler Enstitüsü,
sahinsevilnur@gmail.com - 0009-0008-8999-9960

Prof. Dr. Murat Saç

Ege Üniversitesi/Nükleer Bilimler Enstitüsü,
mmuratsac@gmail.com - 0000-0002-7794-8612

ÖZET

Radon, uranyum bozunma zincirinde oluşan, renksiz ve kokusuz doğal radyoaktif bir gazdır ve insanın doğal radyasyon maruziyetinin önemli bir bölümünü oluşturur. Yeraltı sularının kayaç ve toprakla teması sırasında radyoaktif maddeleri çözündürmesi nedeniyle bu sulardaki radon konsantrasyonu yüzey sularına kıyasla daha yüksek olabilmektedir. İçme ve kullanım sularında bulunan radonun solunum ve sindirim yoluyla vücuda alınması, özellikle akciğer ve mide kanseri riski açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle su kaynaklarındaki radon seviyelerinin belirlenmesi çevresel radyasyon ve halk sağlığı açısından gereklidir.

Bu çalışmada Afyonkarahisar ili Dinar ilçesinde belirlenen 11 farklı kuyu ve kaynak suyunda radon gazı konsantrasyonlarının zamana bağlı değişiminin incelenmiştir. Araştırma kapsamında belirlenen istasyonlardan periyodik olarak 250 mL'lik su örnekleri toplandı. Ölçümler, RAD-7 radon detektörü ve cihazın "Wat250" protokolü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle, sudan ayrıştırılan radon gazı konsantrasyonu pCi/L cinsinden tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre su örneklerinin 3.75 ile 407 pCi/L aralığında olduğu görülmüştür. En yüksek değer Ilıca istasyonunda belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları ulusal ve uluslararası sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma ile Dinar ilçesindeki içme ve kullanım sularının radyoaktivite açısından mevcut durumu ortaya konulmuştur. Bölgeye ait temel veri seti oluşturulacak, halk sağlığı açısından olası riskler değerlendirilmiştir. Elde edilen bulguların çevresel radyoaktivite izleme çalışmalarına ve su güvenliği değerlendirmelerine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Radon, içme suyu, RAD-7, çevresel radyoaktivite

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF LIMONENE CONTAINING NANOCOMPOSITES

Eslem UYSAL

Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering,
Gebze-Kocaeli, Turkey

e.uysal2020@gtu.edu.tr

Dr. Sedef KAPTAN USUL*

Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering,
Gebze-Kocaeli, Turkey

sedefkaptan@gtu.edu.tr-<https://orcid.org/0000-0002-8178-9343>

Assoc. Prof. Dr. Ayşe ASLAN

Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering,
Gebze-Kocaeli, Turkey

ayseaslan@gtu.edu.tr-<https://orcid.org/0000-0001-8904-4074>

ABSTRACT

This study aims to develop nanocomposite structures by incorporating limonene-loaded mesoporous silica nanoparticles (MSN-NH₂-L) into a poly (glycidyl methacrylate) (PGMA) matrix, taking advantage of the antibacterial properties of D-limonene. Mesoporous silica nanoparticles were synthesized by the sol-gel method, their surfaces were functionalized with amine groups, and limonene was loaded into the structure by physical adsorption, and PGMA nanocomposites were prepared using different percentages. Although MSN-NH₂-L has been investigated in the literature, nanocomposites of MSN-NH₂-L with PGMA have been investigated for the first time. The properties of the nanoparticles and nanocomposites were analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), and Thermogravimetric Analysis (TGA). Analysis revealed that limonene was successfully loaded onto the MSN-NH₂ surface, MSN-NH₂-L dispersed within the PGMA matrix without disrupting its structural integrity, MSN-NH₂ nanoparticles exhibited a spherical morphology, surface roughness increased after limonene loading, MSN addition improved the thermal stability of the PGMA matrix, and limonene displayed volume-dependent antibacterial properties. Analyses showed that the MSN-NH₂ nanoparticle allows for the stabilization of limonene while preserving its structural properties.

Keywords: Mesoporous Silica Nanoparticles, D-Limonene, Nanocomposite, Antibacterial

1. INTRODUCTION

Essential oils are natural, aromatic, and volatile oils obtained from various plant species. They possess a variety of biological impacts, including antibacterial effects. For many years, their use has been of great importance in various application areas, particularly in the medical, agricultural, food, and cosmetic industries, thanks to their significant properties [1]. However, bioactivity, compatibility, and stability determine the effectiveness of essential oils.

Thanks to the increasing resistance of bacteria, many studies have been conducted to find new agents with antibacterial properties. One of them Limonene, or 4-isopropenyl-1-methylcyclohexene ($C_{10}H_{16}$), is a monocyclic monoterpene hydrocarbon naturally synthesized in many plants [3]. In nature, it exists as two optical isomers and racemic mixtures under the names D and L limonene [4]. D-limonene, the most preferred isomer of limonene to be used in this study, is a functional monoterpene compound that is colorless, has a unique and pleasant lemon-like odor [5]. Limonene represents safer and "more sustainable" alternative commercial product, but its use has some limitations due to its fragility, volatility, and instability [6]. In the recent years, studies have been conducted to find the most suitable materials to load limonene to minimize these limitations [2,7].

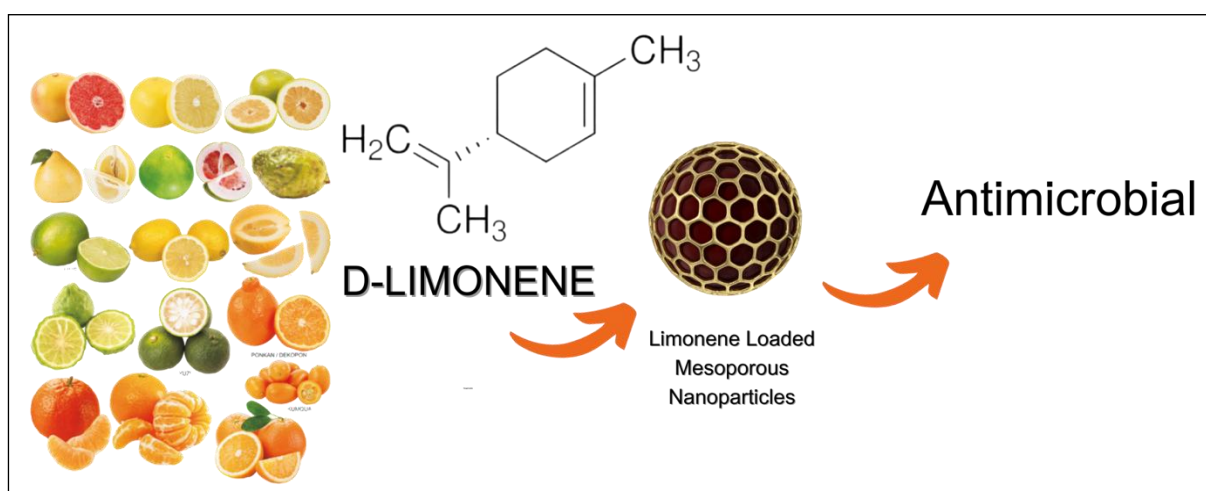


Figure 1. MSN-NH₂-L nanoparticle

Nanotechnology encompasses the visualization, measurement, modeling, and processing of matter at the nanometer scale. Nanoparticles can be used in many applications due to their flexibility in structure, size, biocompatibility, high surface area, and functionality. Mesoporous silica nanoparticles (MSN) among nanoparticles are suitable for use in many fields due to their large specific surface area, heat resistance, mechanical stress resistance, and pH resistance. In addition, the porous structure of MSN prevents the oxidation of essential oils, ensures the protection of the active components of the oil, and enables to control release [9]. Thanks to various functional groups, the surface of MSNs can be made better, more stable, and ready for various applications by simple surface modifications with silane chemistry. Due to their adjustable surface properties and robust structures, mesoporous silica nanoparticles provide a

suitable environment for nanoscale structuring of materials and make it possible to develop and utilize materials [14].

Glycidyl methacrylate (GMA) is an important functional monomer widely used due to its versatile physical, chemical, and mechanical properties. The most important advantage of GMA monomer is containing readily convertible epoxide groups [10].

In this study, limonene has been loaded onto mesoporous silica to produce the MSN-L/PGMA composites. Nanocomposites containing limonene, their potential for biotechnology applications has been assessed by conducting antibacterial tests and structural characterization tests.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Limonene (95%), Glycidyl Methacrylate (GMA), (3-aminopropyl) triethoxysilane (APTES, 99.5%), Hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB, 99%), Tetraethylorthosilicate (TEOS, 98%), Ammonium hydroxide (NH₃, 28%), Diethylamine (C₄H₁₁N), Hydrochloric acid (HCl, 36.5%), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), and Ethanol (99%) were sourced from Sigma-Aldrich. Agar powder, yeast extract powder, and peptone used in antibacterial tests were purchased from Condalab. Sodium hydroxide (NaOH) was used for pH adjustments. *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), and *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) bacterial strains were obtained from Gebze Technical University, Biomaterial Laboratory.

2.2 Methods

2.2.1 Synthesis of Mesoporous Silica Nanoparticles

CTAB (400 mg) is added to deionized water (140 mL) under ultrasonic conditions for 15 minutes. When the solution becomes clear, TEOS (1.8 mL) is slowly added to the surfactant solution while stirring for 2 hours. The white precipitate is separated by centrifugation, then washed with ethanol and dried under vacuum conditions for 12 hours. The MSN nanoparticles are dispersed in ethanol and APTES are added to the solution, and the mixture is allowed to react at room temperature under continuous stirring. Then, to remove CTAB from the nanoparticles, they are re-dispersed in a mixture of ethanol and HCl (100 mL/1 mL, v/v). MSN-NH₂ nanoparticles are separated by centrifugation and kept in vacuum oven at 80 °C for 24 hours [11].

2.2.2 Loading Limonene onto Mesoporous Silica Nanoparticles

0.224 ml Limonene is added into a 40 mL pure water-DMSO solution (1:1) mixture, and EDC (0.270 g, 1.41 mmol) and NHS (0.160 g, 1.40 mmol). Since limonene is light-sensitive, the reaction balloon is covered with foil to prevent light from passing through. The mixture is stirred for 6 hours, and then 20 mL of MSN-NH₂ (0.230 g) suspension prepared with DMSO-Water (1:1) solution in the ultrasonic bath for 10 minutes after all, the mixing is slowly added

to the limonene mixture. The reaction mixture is stirred on a magnetic stirrer for 48 hours at room temperature. The resulting solid is centrifuged (10000 rpm, 10 min) and washed several times with ethanol. The limonene is loaded onto mesoporous silica nanoparticles (MNLs) and dried overnight at 80°C [12].

2.2.3 Synthesis of Poly (glycidyl methacrylate) (PGMA)

Glycidyl methacrylate (GMA) was synthesized by photo-initiated free radicalic polymerization method, using poly (glycidyl methacrylate) (PGMA), camphoroquinone (Cq), and ethyl 4-dimethylaminobenzoate (EDMAB) photoinitiators [19]. The polymerization reaction is conducted in N₂ atmosphere at 80 °C for 24 hours under continuous stirring. After the reaction was completing the mixture was cooled to room temperature, and the synthesized polymer was dried and purified.

2.2.4 Preparation of L-series nanocomposites

To prepare L-series nanocomposites, PGMA and MSN-NH₂-L nanoparticles were combined in ratios of 5%, 10%, and 20%.

Table 1. MSN-NH₂-L/PGMA Nanocomposites

Nanocomposite	MSN-NH ₂ -L (%)	PGMA
L1	-	100
L2	5	95
L3	10	90
L4	20	80

3. RESULTS & DISCUSSION

The main objective of this project is to obtain nanocomposites by utilizing the antibacterial properties of limonene-loaded mesoporous silica nanoparticles. The results obtained from characterization tests and analyses confirm that this objective has been successfully achieved.

In the FT-IR spectrum (Figures 2), it was determined that the MSN-N sample exhibits a stretching associated with the -OH and -NH functional groups present on the surface at 3400 cm⁻¹. This may be related to the stretching of adsorbed water molecules or amine groups at 1630 cm⁻¹. It is related to the Si-O-Si stretching at 1060 cm⁻¹, a characteristic feature of mesoporous silica structures. In the FTIR spectrum of the MSN-N-L sample, new peaks appear in addition to those in the MSN-N spectrum, and differences in the intensities of some peaks are observed. The C-H stretching of 2938 cm⁻¹ indicates the absorption of L into the nanoparticle. The C=C stretching of 1610 cm⁻¹ and 1510 cm⁻¹ may be related. Si-O-Si vibrations were associated with 940 cm⁻¹ and 792 cm⁻¹. In the FT-IR spectrum of MSN-N-L, the C=C stretching and C-H stretching of L were clearly observed.

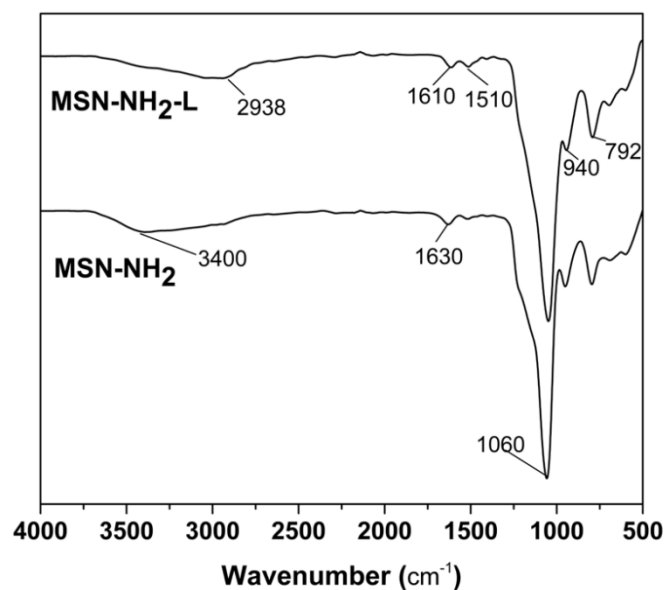


Figure 2. FTIR spectrum of MSN-NH₂ and MSN-NH₂-L sample.

The obtained FTIR results show that after L loading, the characteristic silica peaks of the MSN structure are preserved and new stretching peaks belonging to the organic component appear. These results demonstrate that L is effectively loaded onto the MSN-N surface via physical adsorption. Similar results have been observed in literature for nanoparticles containing L [11].

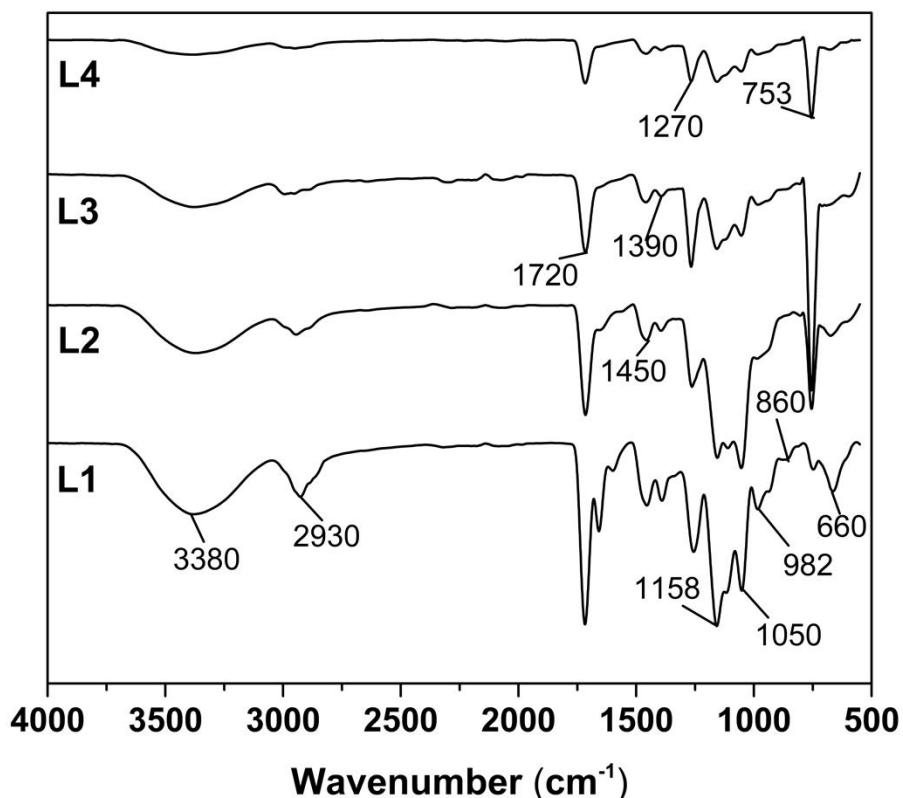


Figure 3. FTIR spectrum of L series nanocomposites.

According to the FTIR spectra given in Figure 3, the characteristic bands of the L series nanocomposites and their variations depending on the amount of filler are clearly observed. In the pure PGMA sample, peaks of 3380 cm^{-1} (--OH), 2930 cm^{-1} (C--H), 1720 cm^{-1} (C=O), and $1158\text{--}1050\text{ cm}^{-1}$ (C--O--C/epoxy) and 982 cm^{-1} (Si--OH/silanol) were observed. With the addition of MSN-L, peaks corresponding to Si--O--Si and Si--O vibrations in the range of $1050\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ and $750\text{--}860\text{ cm}^{-1}$ appeared in the composites, and the intensity of these peaks increased as the MSN content increased. The increase in the intensity of silica-induced bands, particularly in the 1050 cm^{-1} and 753 cm^{-1} regions, observed in samples L2, L3, and L4 with increasing MSN- NH_2 -L content, indicates that the inorganic phase was successfully dispersed within the polymer matrix. A slight decrease in the intensity of the bands belonging to the PGMA matrix was observed with increasing filler ratio. The FTIR results indicate that the MSN- NH_2 -L nanocomposite structure is incorporated into the PGMA matrix.

The morphological and elemental properties of the prepared MSN- NH_2 , MSN- NH_2 -L, and L series nanocomposite series combined at the percentage ratios has showed in Table 2 evaluated using EDS analyses.

Table 2. EDS elemental analysis results (by weight %) of MSN-NH₂, MSN-NH₂-Limonene and L series nanocomposites.

Elemets (Weight%) / Materials	C	N	O	Si
MSN-NH₂	20.88	3.17	37.41	38.54
MSN-NH₂-L	44.13	6.27	31.3	18.29
L1	54.58	-	45.42	-
L2	50.24	6.84	41.76	1.16
L3	48.29	6.04	37.4	8.27
L4	46.73	5.62	36.6	11.05

Examination of the EDS analysis results (Table 2) show that the MSN-NH₂ sample contains C (20.88 wt%), N (3.17 wt%), O (37.41 wt%), and Si (38.54 wt%) atoms, indicating that the mesoporous silica structure was successfully modified with amine groups. Following limonene loading, a significant increase in C (44.13 wt%) and N (6.27 wt%) was observed in the MSN-NH₂-L sample. This increase indicates limonene molecules, which have an organic structure, were successfully loaded into the porous silica structure. Conversely, the decrease in Si to 18.29 wt% can be explained by the increased carbon content resulting from the organic character of limonene. Looking at the L series nanocomposites, C (54.58 wt%) and O (45.42 wt%) elements, originating from the polymer structure, were observed in the L1 sample, representing pure PGMA. As MSN-NH₂-L was added to the PGMA structure (L2, L3, and L4), C, N, O, and Si elements were observed in the composites. As the amount of MSN-NH₂-L increased, the Si ratio raised to 1.16 wt% in L2, 8.27 wt% in L3, and 11.05 wt% in L4. Conversely, a gradual decrease in C and O ratios were observed due to the reduction in the polymer phase. These results demonstrated the presence of MSN-NH₂-L within the PGMA matrix.

Examination of the SEM images in Figure 4 reveals that MSN-NH₂ has the spherical morphology, regular and homogeneous shape with an average size of 50-100 nm, and a regular hexagonal pore arrangement. Following the addition of limonene, the limonene-loaded MSN-NH₂-L sample exhibited increased surface roughness and small aggregations.

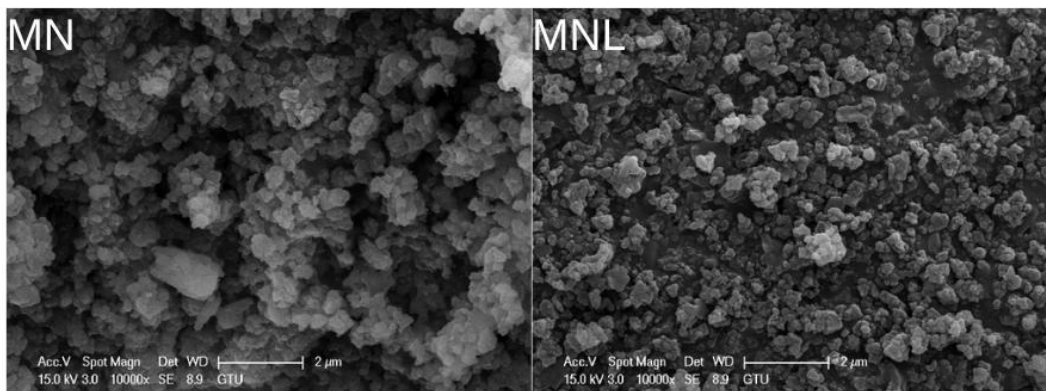


Figure 4. SEM images of MSN-NH₂ (MN) and limonene-loaded MSN-NH₂ (MNL) samples.

the SEM images in Figure 5, it is observed that the L1 sample without MSN-NH₂ has a homogeneous and smooth surface, while the surface roughness and heterogeneity increase in samples L2, L3, and L4 with increasing addition of MSN-L.

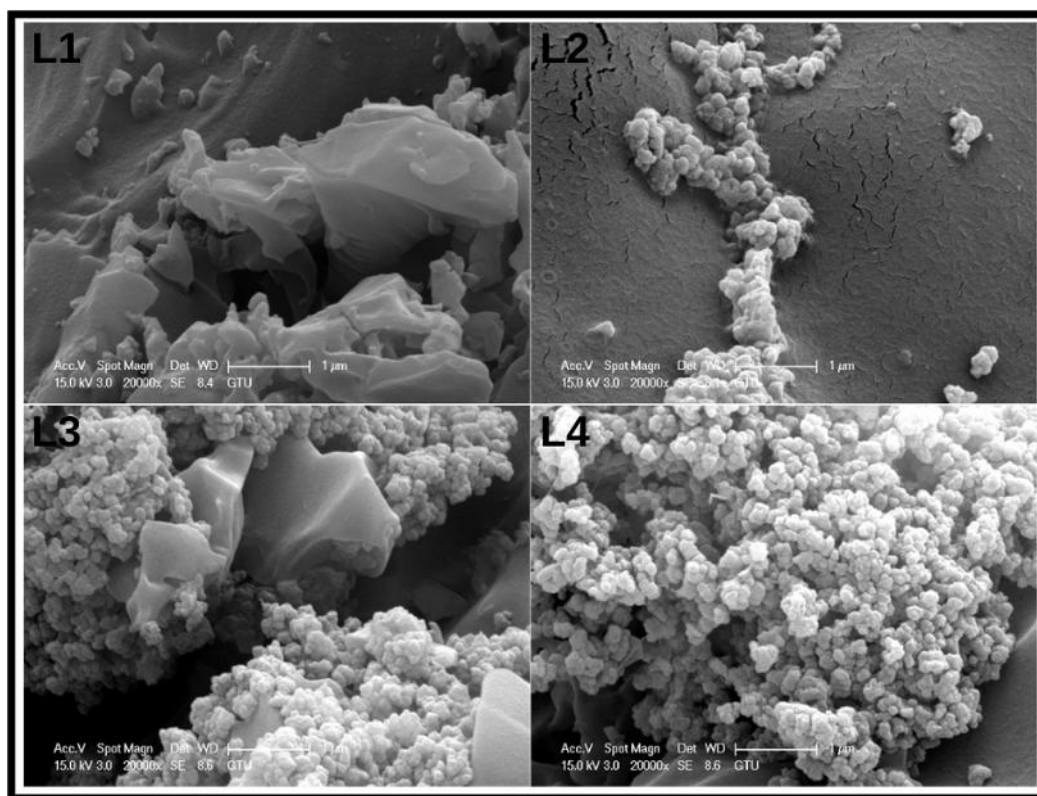


Figure 5. SEM images of L series nanocomposites.

These morphological changes were also confirmed by EDS results. While SEM analyses revealed an increase in surface roughness and heterogeneity after limonene loading, the increase in carbon content. The weight and atomic percentage values of the elemental composition in the EDS results shown in Table 2, confirmed the incorporation of the organic compound into the structure. Once the SEM and EDS results are examined together, it is concluded that the MSN-L nanoparticle significantly affects both the morphology and

elemental composition of the nanocomposite structure, that means the nanocomposite formation was successfully achieved. Similar results are also seen in nanoparticles in the literature [15, 16, 17].

The TGA (Thermogravimetric Analysis) results presented in Figure 6.

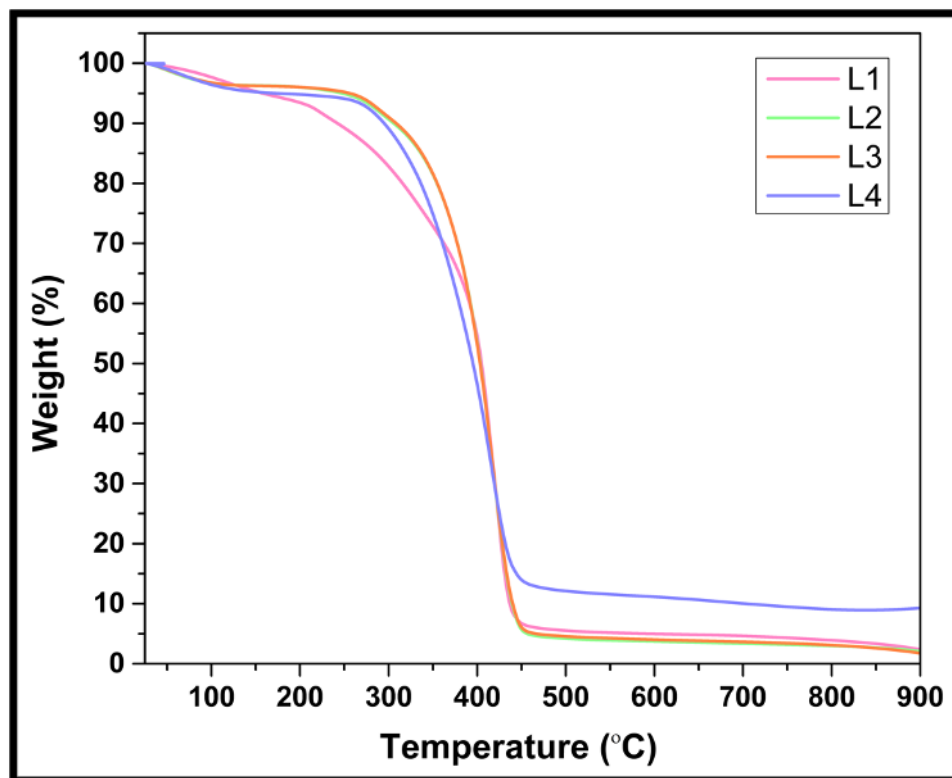
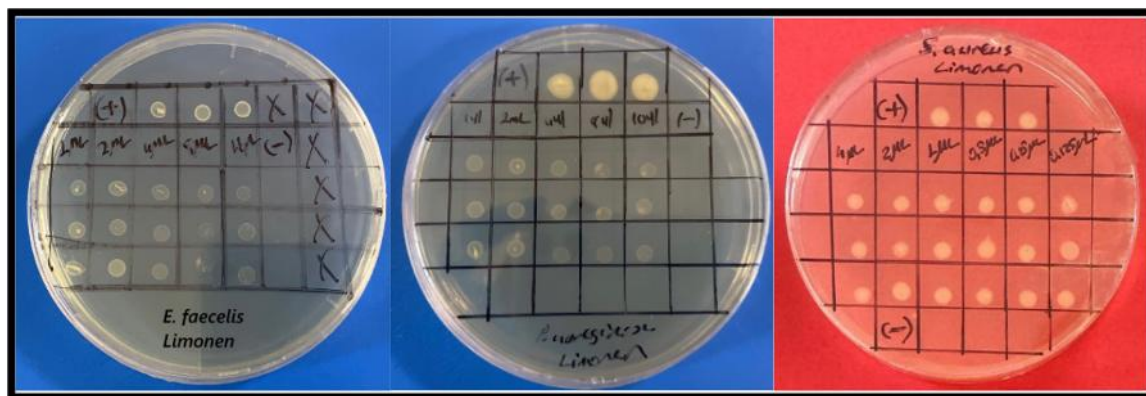


Figure 6. TGA of L series nanocomposites.

These results indicate that the addition of MSN enhances the thermal stability of the polymer matrix. No certain decomposition temperature (T_d) of limonene was observed in the TGA curves. This suggests that the T_d of limonene falls within the T_d range of PGMA, or that it is related to the stability of limonene within the mesoporous silica structure. The increase in T_d with increasing MSN-L content to high temperatures, demonstrates that MSN enhances the thermal stability of the nanocomposites. TGA analyses indicate that the addition of MSN increased the amount of inorganic residue at high temperatures, improved thermal stability, and shifted the fundamental thermal decomposition characteristics of PGMA to higher temperatures [15, 16, 17].

In the MBC plate image Figure 7 prepared for *E. faecalis*, *P. aeruginosa* and *S. aureus* bacterial growth was observed in positive control, while no bacterial growth was observed in negative control.



Figures 7. MBC images show the antibacterial effect of limonene on *E. faecalis*, *P. aeruginosa*, and *S. aureus* bacteria.

MIC tests revealed that limonene did not exhibit significant antibacterial activity against *E. faecalis* and *P. aeruginosa* strains in the concentration range of 1–16 μ L. This was confirmed by MBC experiments, where bacterial growth continued in cultures at the relevant concentrations. In contrast, limonene showed antibacterial activity against *S. aureus* strains, with a MIC value in the range of 2–4 μ L, while its MBC value ranged from 4–8 μ L. The difference between MIC and MBC values stems from the difference between bacteriostatic and bactericidal activity. The MIC value represents the lowest concentration that inhibits bacterial growth, while the MBC value represents the minimum concentration required for complete killing of bacteria. Indeed, for bactericidal activity to be confirmed in the MBC evaluation, no colony formation was observed on the agar surface, as in the negative control. In the literature, it is reported that the antibacterial effect of volatile oil components such as limonene occurs by disrupting the integrity of the bacterial cell membrane, and that higher concentrations than those that inhibit growth may be needed to eliminate bacteria. In addition, it has been reported that the antibacterial efficacy of limonene can be dependent on the type of microorganism and may be more pronounced against Gram-positive bacteria. The results demonstrated that limonene exhibited antibacterial activity against the *S. aureus* strain but did not show a significant bactericidal effect against *E. faecalis* and *P. aeruginosa* strains within the concentration range examined. These findings are consistent with studies in the literature reporting the antibacterial effects of limonene-containing systems [18, 21,22,23].

CONCLUSIONS

In this study, the production of a nano-composite polymer by embedding MSN-NH₂-L with PGMA was carried out and characterised for the first time.

- FTIR results demonstrated that the characteristic peaks of PGMA and the structural integrity of the polymer matrix and proving the successful incorporation of MSN-L into PGMA.

- SEM and EDS results showed that the MSN-L nanoparticle significantly affected both the morphology and elemental composition of the nanocomposite structure, and the nanocomposites formations were successfully achieved.
- TGA analysis showed that thermal stability increased with increasing MSN-L content.
- Antibacterial analysis indicated that L doesn't have antibacterial activity against *P. aeruginosa* and *E. faecalis* strains in the 1–16 µL concentration range, but L has antibacterial activity against *S. aureus* strain, with a MIC value in the 2–4 µL range and an MBC value in the 4–8 µL range.

In conclusion, all the results indicate that mesoporous silica has a promising effect in terms of the stabilization and controlled release of natural and volatile bioactive compounds. Furthermore, it has been confirmed that it also enhances the structural and thermal stability of the polymer nanocomposite.

ACKNOWLEDGEMENTS

The writing of this project and the conduct of its experimental studies were made possible by TÜBİTAK 2209-A project support.

REFERENCES

- [1] Falleh, H., Ben Jemaa, M., Saada, M., Ksouri, R. Essential Oils: A Promising Eco-Friendly Food Preservative. Food Chemistry, November, 15,11, 2020.
- [2] Lammari, N., Louaer, O., Meniai, A. H., Elaissari, A. Encapsulation of Essential Oils via Nanoprecipitation Process: Overview, Progress, Challenges and Prospects. Pharmaceutics, May, 7,5, 2020.
- [3]<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Limonene>
(Erişim tarihi: 26.02.2026)
- [4] Ravichandran, C., Badgujar, P. C., Gundev, P., Upadhyay, A. Review of Toxicological Assessment of d-Limonene, a Food and Cosmetics Additive. Food and Chemical Toxicology, October, 10, 2018.
- [5] Sohan, M.S.R., Elshamy, S., Lara-Valderrama, G., Changwatchai, T., Khadizatul, K., Kobayashi, I., Nakajima, M., Neves, M.A. Encapsulation of D-Limonene into O/W Nanoemulsions for Enhanced Stability. Polymers, January, 16,1, 2023.
- [6] Turek, C., Stintzing, F. C. Stability of Essential Oils: A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, January, 3,1, 2013.

- [7] Ibáñez, M. D., Sanchez-Ballester, N. M., Blázquez, M. A. Encapsulated Limonene: A Pleasant Lemon-Like Aroma with Promising Application in the Agri-Food Industry. A Review. *Molecules*, June, 3,6, 2020.
- [8] Jeelani, P. G., Mulay, P., Venkat, R., Ramalingam, C. Multifaceted Application of Silica Nanoparticles. A Review. *Silicon*, July, 31,7, 2019.
- [9] Weisany, W., Yousefi, S., Pourbarghi Soufiani, S., Pashang, D., McClements, D. J., Ghasemlou, M. Mesoporous Silica Nanoparticles: A Versatile Platform for Encapsulation and Delivery of Essential Oils for Food Applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, February, 28,2, 2024.
- [10] Shi, M., Xia, L., Chen, Z., Lv, F., Zhu, H., Wei, F., Han, S., Chang, J., Xiao, Y., Wu, C. Europium-Doped Mesoporous Silica Nanosphere as an Immune-Modulating Osteogenesis/Angiogenesis Agent. *Biomaterials*, November, 11, 2017.
- [11] Lu, Z., Wang, J., Qu, L., Kan, G., Zhang, T., Shen, J., Li, Y., Yang, J., Niu, Y., Xiao, Z., Li, Y., Zhang, X. Reactive mesoporous silica nanoparticles loaded with limonene for improving physical and mental health of mice at simulated microgravity condition, *Bioactive Materials*, July, 5,4, 2020.
- [12] de Juan Mora, B., Filipe, L., Forte, A., Santos, M. M., Alves, C., Teodoro, F., Pedrosa, R., Ribeiro Carrott, M., Branco, L. C., Gago, S., Boosting antimicrobial activity of ciprofloxacin by functionalization of mesoporous silica nanoparticles, *Pharmaceutics*, Feb, 13,2, 2021.
- [13] Flood-Garibay, J., Méndez-Rojas, M. A., Synthesis and characterization of magnetic wrinkled mesoporous silica nanocomposites containing Fe₃O₄ or CoFe₂O₄ nanoparticles for potential biomedical applications, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 615, 126236, February 2021.
- [14] Kankala, R. K., Han, Y. H., Xia, H. Y., Wang, S. B., Chen, A. Z., Nanoarchitected prototypes of mesoporous silica nanoparticles for innovative biomedical applications, *Journal of Nanobiotechnology*, March, 20,1, 2022.
- [15] Flood-Garibay, J., Méndez-Rojas, M. A., Synthesis and characterization of magnetic wrinkled mesoporous silica nanocomposites containing Fe₃O₄ or CoFe₂O₄ nanoparticles for potential biomedical applications, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 615,126236, 2021.
- [16] Estevão, B. M., Miletto, I., Hioka, N., Marchese, L., Gianotti, E., Mesoporous silica nanoparticles functionalized with amino groups for biomedical applications, *ChemistryOpen*, December, 10,12, 2021.

- [17] Kaptan Usul, S., Aslan, A., Özçimen, D., Characterization and antifungal applications of azole functional mesoporous and hollow silica nanocomposites, *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, December 5, (Ek sayı 1), 2022.
- [18] Vieira, A. J., Beserra, F. P., Souza, M. C., Totti, B. M., Rozza, A. L., Limonene: Aroma of innovation in health and disease, *Chemico-Biological Interactions*, 283,97-106, 2018.
- [19] Kaptan Usul, S., Binay, B., Soydan, A.M., Yüzüak, O., Aslan, A., Immobilization of *Bacillus licheniformis* α -Amylase on azole functionalized nanoparticle: more active, stable, and usability, *Protein Journal*, 41, 671–680, 2022.
- [20] Burt S, Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods--a review, *International journal of food microbiology*, 94(3), 223–253, 2004.
- [21] G. A. Pankey, L. D. Sabath, Clinical Relevance of Bacteriostatic versus Bactericidal Mechanisms of Action in the Treatment of Gram-Positive Bacterial Infections, *Clinical Infectious Diseases*, 38(6), 864–870, 2004.
- [22] R.J.W. Lambert, J. Pearson, Susceptibility testing: accurate and reproducible minimum inhibitory concentration (MIC) and non-inhibitory concentration (NIC) values, *Journal of Applied Microbiology*, 88(5), 784–790, 2000.
- [23] Mounyr Balouiri, Moulay Sadiki, Saad Koraichi Ibsouda, Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review, *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6 (2), 71-79, 2016.

ROUGH FIELDS BASED ON UPPER APPROXIMATION AND MAXIMAL ROUGH IDEALS

Mehmet Mustafa BEYDAĞI

Inonu University, mbeydagi23@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-3553-1173

Prof. Dr. İlhan İÇEN

Inonu University, ilhan.icen@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3576-0731

Prof. Dr. A. Fatih ÖZCAN

Inonu University, abdullah.ozcan@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9732-8026

ABSTRACT

In recent studies, algebraic structures have been systematically transferred into rough set theory by redefining classical axioms within upper approximation frameworks. In particular, rough rings and rough ideals were introduced by requiring algebraic closure and absorption properties to hold in upper approximations rather than in the sets themselves. Furthermore, rough quotient rings were constructed using this upper-approximation-based structure.

Following these definitions and preserving the same structural philosophy, this paper introduces the notion of a rough field. The definition is formulated intrinsically via upper approximation invertibility. It is proved that a rough quotient ring becomes a rough field if and only if the corresponding rough ideal is maximal with respect to upper approximation inclusion. This establishes the rough analogue of the classical maximal ideal–field correspondence.

The construction strictly adheres to the previously developed rough ring and rough ideal framework, ensuring structural consistency in the algebraic hierarchy. Non-trivial examples are presented to illustrate the behavior of rough fields and to highlight the influence of boundary regions and completeness measures on invertibility. The results complete the progression

Rough Ring $\rightarrow$ Rough Ideal $\rightarrow$ Rough Quotient Ring $\rightarrow$ Rough Field

within upper-approximation-based rough algebra.

Keywords : Rough set theory, Rough ring, Rough ideal, Maximal rough ideal, Rough quotient ring, Rough field

1. INTRODUCTION

Since the introduction of rough set theory by Pawlak [1], approximation spaces have provided a natural and effective framework for modeling uncertainty through equivalence relations and

approximation operators. Unlike probabilistic or fuzzy models, rough set theory does not assign graded membership; instead, it describes uncertainty through lower and upper approximations determined by indiscernibility relations.

The algebraic transfer of rough set theory has developed progressively [2-8]. Rough groups and rough semigroups were introduced by adapting classical axioms to approximation spaces. Later, the concepts of rough rings, rough subrings, and rough ideals were defined by reformulating ring-theoretic properties in terms of upper approximation closure.

In our previous studies, a rough ring was defined by requiring that its upper approximation be closed under addition and multiplication, and that the additive structure forms a rough commutative group. Similarly, a rough ideal was characterized through absorption properties that hold inside the upper approximation of the ambient rough ring. This shift from exact membership to upper-approximation-based closure constitutes the fundamental philosophy of our rough algebraic framework.

Subsequently, rough quotient rings were constructed by extending classical quotient structures to the rough setting, again preserving the upper approximation approach. These developments naturally raise the following structural question:

Can the classical correspondence between maximal ideals and fields be extended consistently to rough algebra?

In classical ring theory, a quotient ring R/I is a field if and only if I is a maximal ideal. However, in the rough context, operations and containment are governed not by exact equality but by upper approximation inclusion. Therefore, invertibility must be reformulated within this approximation-based structure.

The main objective of this paper is to introduce the concept of a rough field in full compatibility with our previous definitions of rough rings and rough ideals and to establish the following characterization:

A rough quotient ring is a rough field if and only if the corresponding rough ideal is maximal with respect to upper approximation inclusion.

The novelty of this work lies in: Defining invertibility inside upper approximations, Characterizing maximal rough ideals through approximation inclusion, Extending the algebraic hierarchy consistently, Revealing structural differences between classical and rough fields, particularly regarding boundary regions.

Thus, the study completes the algebraic chain initiated in earlier works and demonstrates that the progression Rough Ring $\rightarrow$ Rough Ideal $\rightarrow$ Rough Quotient Ring $\rightarrow$ Rough Field remains valid when all structural conditions are formulated within upper approximation theory.

2. PRELIMINARIES

Definition 2.1 Let F is a universe (non-empty) set and θ is an equivalence relation on F . The set (F, θ) is said to be an approximation space. We denote the equivalence class of object $a \in F$ by $[a]_\theta$. Suppose (F, θ) is an approximation space and S is a subset of F . The sets $\underline{S} = \{a \in F : [a]_\theta \subseteq S\}$, $\overline{S} = \{a \in F : [a]_\theta \cap S \neq \emptyset\}$, $Bnd(S) = \overline{S} - \underline{S}$ are called upper approximation, lower approximation, and boundary region of S , respectively. If $Bnd(S) \neq \emptyset$, then S is rough set [1].

Definition 2.2 Let (F, θ) be an approximation space and $*$ be a binary operation on F . $A \subset F$ is called a rough group if the following properties are satisfied:

- i) $\forall \mu, \vartheta \in A, \mu * \vartheta \in \overline{A}$
- ii) $\forall \mu, \vartheta, \varepsilon \in A, (\mu * \vartheta) * \varepsilon = \mu * (\vartheta * \varepsilon)$ or associative property holds in $\overline{A}$.
- iii) $\forall \mu \in A$, such that $\exists e \in \overline{A}, \mu * e = e * \mu = \mu$, where e is called the rough unit element of rough group A .
- iv) $\forall \mu \in A, \exists \rho \in A \ni \mu * \rho = \rho * \mu = e$, where ρ is said the rough inverse element of μ in A , we denote it by μ^{-1} [2,8].

Definition 2.3 Let $(G_1, *)$ and $(G_2, \blacksquare)$ be two rough groups. If there exists a surjective function $\varphi : \overline{G_1} \rightarrow \overline{G_2}$ such that $\varphi(x * y) = \varphi(x) \blacksquare \varphi(y)$ for $\forall x, y \in \overline{G_1}$, then φ is called a rough group homomorphism and the rough groups G_1 and G_2 are called rough homomorphic groups [2].

Definition 2.4 Let $\mathcal{R}$ is a rough set. Define the operation in $\mathcal{R}$ as " $\oplus$ " and " $\otimes$ " are addition and multiplication in $\mathcal{R}$, respectively. Then, $(\mathcal{R}, \oplus, \otimes)$ triple is said to be a rough ring if all condition below are satisfied:

- i) $(\mathcal{R}, \oplus)$ is a rough commutative group,
- ii) $(\mathcal{R}, \otimes)$ is a rough semigroup or $\overline{\mathcal{R}}$ satisfied associative property,
- iii) For every $\theta, \vartheta, \mu \in \mathcal{R}$, then $\theta \otimes (\vartheta \oplus \mu) = \theta \otimes \vartheta \oplus \theta \otimes \mu$ and $(\theta \oplus \vartheta) \otimes \mu = \theta \otimes \mu \oplus \vartheta \otimes \mu$ holds in $\overline{\mathcal{R}}$ [9].

Definition 2.5 Let $\mathcal{R}$ be rough ring and $P \subseteq \mathcal{R}$. P is said to be a rough subring of $\mathcal{R}$ if P is a rough ring with the same operation as $\mathcal{R}$ [9].

Theorem 2.1 Let $B \neq \emptyset$ is a rough subset of a rough ring $\mathcal{R}$. B is called a rough subring of $\mathcal{R}$ if and only if every $b_1, b_2 \in B$ the following condition is satisfied:

- i) For $\forall b_1, b_2 \in B, b_1 \oplus (-b_2) \in \overline{B}$,
- ii) For $\forall b_1, b_2 \in B, b_1 \otimes b_2 \in \overline{B}$ [9].

Definition 2.6 Let $(\mathcal{R}, \oplus, \otimes)$ be a rough ring and $\mathfrak{D} \neq \emptyset$ is rough subset of $\mathcal{R}$. $\mathfrak{D}$ is called rough ideal of $\mathcal{R}$ if:

- i) For $\forall d_1, d_2 \in \mathfrak{D}, d_1 \oplus (-d_2) \in \overline{\mathfrak{D}}$,

ii) For $\forall d \in \mathfrak{D}$ and $\forall r \in \mathcal{R}$, $d \otimes r, r \otimes d \in \overline{\mathfrak{D}}$ [9].

Definition 2.7 [9] Let $(\mathcal{R}, \oplus, \otimes)$ be a rough ring and $\mathfrak{D} \subseteq \mathcal{R}$. A subset $\mathfrak{D}$ is said to be left-rough ideal in $\mathcal{R}$ if

i) For $\forall d_1, d_2 \in \mathfrak{D}$, $d_1 \oplus (-d_2) \in \overline{\mathfrak{D}}$

ii) For $\forall d \in \mathfrak{D}$ and $\forall r \in \mathcal{R}$, $r \otimes d \in \overline{\mathfrak{D}}$.

A subset $\mathfrak{D}$ is said to be right-rough ideal in $\mathcal{R}$ if

i) For $\forall d_1, d_2 \in \mathfrak{D}$, $d_1 \oplus (-d_2) \in \overline{\mathfrak{D}}$

ii) For $\forall d \in \mathfrak{D}$ and $\forall r \in \mathcal{R}$, $d \otimes r \in \overline{\mathfrak{D}}$.

Definition 2.8 Let $\mathcal{R}$ be a rough ring and $\mathfrak{D}$ be a rough ideal of $\mathcal{R}$. The rough ring $(\mathcal{R}/\mathfrak{D}, \oplus, \otimes)$ is called a rough quotient ring. [10]

3. ROUGH FIELD

Definition 3.1 Let (U, R) be an approximation space and let $\mathcal{R} \subseteq U$ be a rough ring with respect to R as defined previously. Denote by $\overline{\mathcal{R}}$ the upper approximation of $\mathcal{R}$.

The rough ring $\mathcal{R}$ is called a rough field if the following conditions are satisfied:

i) $\mathcal{R}$ is a commutative rough ring with unity; that is, there exists an element $I \in \overline{\mathcal{R}}$ such that

$$I \otimes a = a \otimes I = a, \quad \text{for all } a \in \overline{\mathcal{R}}.$$

ii) For every element $a \in \overline{\mathcal{R}}$ with $a \neq 0$, there exists an element $b \in \overline{\mathcal{R}}$ such that

$$a \otimes b = b \otimes a = I$$

holds in $\overline{\mathcal{R}}$.

Equivalently, every nonzero element of the upper approximation $\overline{\mathcal{R}}$ is multiplicatively invertible within $\overline{\mathcal{R}}$.

Remark 3.1 It is important to emphasize that invertibility is required inside the upper approximation $\overline{\mathcal{R}}$, not necessarily in the set $\mathcal{R}$ itself. Thus, the field structure is governed by approximation closure rather than exact membership. In particular, a rough field may possess a non-empty boundary region.

Definition 3.2 Let (U, R) be an approximation space and let $\mathcal{R} \subseteq U$ be a rough ring. The rough ring $\mathcal{R}$ is called a rough integral domain if the following conditions hold:

i) $\mathcal{R}$ is a commutative rough ring with unity; that is,

$$I \in \overline{\mathcal{R}} \text{ and } I \otimes a = a \otimes I = a, \quad \text{for all } a \in \overline{\mathcal{R}}.$$

ii) The upper approximation $\overline{\mathcal{R}}$ has no zero divisors; namely,

$$a, b \in \overline{\mathcal{R}}, a \otimes b = 0 \Rightarrow a = 0 \text{ or } b = 0.$$

Proposition 3.1 Every rough field is a rough integral domain.

Proof. Let $\mathcal{R}$ be a rough field with respect to the approximation space (U, R) . By Definition 3.1, the upper approximation $\overline{\mathcal{R}}$ satisfies:

i) $(\mathcal{R}, \oplus, \otimes)$ is a commutative ring with unity.

ii) For every nonzero element $a \in \overline{\mathcal{R}}$, there exists an element $a^{-1} \in \overline{\mathcal{R}}$ such that

$$a \otimes a^{-1} = a^{-1} \otimes a = I$$

To show that $\mathcal{R}$ is a rough integral domain, it suffices to prove that $\overline{\mathcal{R}}$ has no zero divisors.

Let $a, b \in \overline{\mathcal{R}}$ such that $a \otimes b = 0$.

Assume that $a \neq 0$. Since $\mathcal{R}$ is a rough field, a admits a multiplicative inverse $a^{-1} \in \overline{\mathcal{R}}$.

Multiplying the equality, $a \otimes b = 0$ on the left by a^{-1} , we obtain

$$a^{-1} \otimes (a \otimes b) = a^{-1} \otimes 0.$$

Using associativity in $\overline{\mathcal{R}}$, this gives $(a^{-1} \otimes a) \otimes b = 0$. Since $a^{-1} \otimes a = I$, it follows that $I \otimes b = 0$, and therefore $b = 0$.

Thus, whenever, $a \otimes b = 0$ in $\overline{\mathcal{R}}$, either $a = 0$ or $b = 0$.

Hence, $\overline{\mathcal{R}}$ has no zero divisors, and consequently, $\mathcal{R}$ is a rough integral domain.

Remark 3.2 The converse of Proposition 3.1 does not necessarily hold. A rough integral domain may fail to be a rough field, since the absence of zero divisors in $\overline{\mathcal{R}}$ does not guarantee the existence of multiplicative inverses for all nonzero elements of $\overline{\mathcal{R}}$.

Thus, multiplicative invertibility inside the upper approximation constitutes a strictly stronger structural requirement than the zero-divisor-free condition. This distinction parallels the classical hierarchy between integral domains and fields, while preserving the approximation-based nature of rough algebra.

Consider the classical ring $\mathbb{Z}$ endowed with the trivial equivalence relation R defined by $x \sim y \Leftrightarrow x = y$. Then every subset coincides with its upper approximation; that is, $\mathcal{R} = \overline{\mathcal{R}}$. Let $\mathcal{R} = \mathbb{Z}$.

Since $\mathbb{Z}$ is a commutative ring with unity and has no zero divisors, it follows that $\mathcal{R}$ is a rough integral domain under this approximation structure.

However, $\mathbb{Z}$ is not a field, because nonzero elements such as 2 do not admit multiplicative inverses in $\mathbb{Z}$.

Therefore, $\mathcal{R}$ is a rough integral domain but not a rough field.

4. MAXIMAL ROUGH IDEALS

Definition 4.1 Let $\mathcal{R}$ be a rough ring with respect to the approximation space (U, R) , and let $\mathcal{D} \subseteq \mathcal{R}$ be a rough ideal.

The rough ideal $\mathcal{D}$ is called a maximal rough ideal if:

- i) $\mathcal{D} \neq \mathcal{R}$ and,
- ii) There exists no rough ideal $\mathcal{C} \subseteq \mathcal{R}$ such that $\overline{\mathcal{D}} \subseteq \overline{\mathcal{C}} \subseteq \overline{\mathcal{R}}$.

That is, $\mathcal{D}$ is maximal with respect to upper approximation inclusion among proper rough ideals of $\mathcal{R}$.

Theorem 4.1 Let $\mathcal{R}$ be a rough ring and $\mathcal{D} \subseteq \mathcal{R}$ a rough ideal. Then the rough quotient ring $\mathcal{R}/\mathcal{D}$ is a rough field if and only if $\mathcal{D}$ is a maximal rough ideal of $\mathcal{R}$.

Proof. $(\Rightarrow)$ Suppose that $\mathcal{R}/\mathcal{D}$ is a rough field. Assume that $\mathcal{D}$ is not maximal. Then there exists a rough ideal $\mathcal{C} \subseteq \mathcal{R}$ such that $\overline{\mathcal{D}} \subseteq \overline{\mathcal{C}} \subseteq \overline{\mathcal{R}}$.

This induces a nontrivial rough ideal $\mathcal{D}/\mathcal{C}$ of the rough quotient ring $\mathcal{R}/\mathcal{D}$. Since $\mathcal{R}/\mathcal{D}$ is assumed to be a rough field, its only rough ideals are: $\{0\}$ and $\mathcal{R}/\mathcal{D}$.

However, $\mathcal{D}/\mathcal{C} \neq \{0\}$ because $\overline{\mathcal{D}} \neq \overline{\mathcal{C}}$, and $\mathcal{D}/\mathcal{C} \neq \mathcal{R}/\mathcal{D}$ because $\overline{\mathcal{C}} \neq \overline{\mathcal{R}}$.

This contradicts the assumption that $\mathcal{R}/\mathcal{D}$ is a rough field. Therefore, $\mathcal{D}$ must be maximal.

$(\Leftarrow)$ Suppose that $\mathcal{D}$ is a maximal rough ideal. Let $a \oplus I \in \mathcal{R}/\mathcal{D}$ be a nonzero element. This means that $a \notin \overline{\mathcal{D}}$. Consider the rough ideal generated by $I \cup \{a\}$, denoted by $\mathcal{C}$. Since $\mathcal{D}$ is maximal and $a \notin \overline{\mathcal{D}}$, it follows that $\overline{\mathcal{C}} = \overline{\mathcal{R}}$. Hence, there exist elements $r \in \overline{\mathcal{R}}$ and $x \in \overline{\mathcal{D}}$ such that $r \otimes a \oplus x = I$. Passing to the quotient, we obtain $(r \oplus \mathcal{D}) \otimes (a \oplus \mathcal{D}) = I \oplus \mathcal{D}$. Thus, $a \oplus \mathcal{D}$ admits a multiplicative inverse in $\mathcal{R}/\mathcal{D}$. Since every nonzero element of $\mathcal{R}/\mathcal{D}$ is invertible inside its upper approximation, $\mathcal{R}/\mathcal{D}$ is a rough field.

Remark 4.1 Theorem 4.1 establishes the rough analogue of the classical maximal ideal–field correspondence. However, unlike the classical case, maximality is formulated with respect to upper approximation inclusion rather than exact set inclusion. Thus, the field structure in rough algebra is governed by approximation-theoretic containment, reflecting the intrinsic uncertainty embedded in the algebraic system.

Example 4.1 Let $U = \mathbb{Z}_6$ and define an equivalence relation $\sim$ on U by

$$x \sim y \Leftrightarrow x \equiv y \pmod{3}.$$

Thus, the equivalence classes are: $[0] = \{0,3\}$, $[1] = \{1,4\}$, $[2] = \{2,5\}$. Then, $(U, \sim)$ is an approximation space.

Take $\mathcal{R} = U = \mathbb{Z}_6$. Since operations are inherited from $\mathbb{Z}_6$, and upper approximation of $\mathcal{R}$ is $\overline{\mathcal{R}} = \mathcal{R}$, it follows that $\mathcal{R}$ is a rough ring.

Consider the subset $\mathfrak{D} = \{0,3\}$. Observe that: $\mathfrak{D}$ is closed under subtraction. For any $r \in \mathbb{Z}_6$ and $x \in \mathfrak{D}$, $r \otimes x \in \mathfrak{D}$. Thus, $\mathfrak{D}$ is a rough ideal of $\mathcal{R}$. Moreover, $\overline{\mathfrak{D}} = \mathfrak{D}$ since each equivalence class is entirely contained in $\mathfrak{D}$ or disjoint from it.

The only proper ideals of $\mathbb{Z}_6$ are: $\{0\}$, $\{0,3\}$, $\mathbb{Z}_6$. Thus, $\mathfrak{D} = \{0,3\}$ is maximal. Hence, $\mathfrak{D}$ is a maximal rough ideal.

Consider the quotient ring: $\mathcal{R}/\mathfrak{D} = \mathbb{Z}_6/\{0,3\}$. This quotient has two elements: $\mathfrak{D} = \{0,3\}, I \oplus \mathfrak{D} = \{1,4\}$. This structure is isomorphic to $\mathbb{Z}_2$. Every nonzero element has multiplicative inverse.

Thus, $\mathcal{R}/\mathfrak{D}$ is a rough field.

5. DISCUSSION

The results obtained in this study demonstrate that the classical correspondence between maximal ideals and fields can be consistently transferred into the framework of rough algebra when all structural conditions are formulated within upper approximation theory. However, the rough setting introduces important conceptual differences that distinguish rough fields from their classical counterparts.

First, maximality in rough algebra is governed by upper approximation inclusion rather than strict set-theoretic inclusion. This reflects the intrinsic uncertainty embedded in approximation spaces. In particular, two rough ideals may differ at the level of sets while sharing the same upper approximation, which makes upper-approximation containment the natural ordering principle in rough algebraic structures.

Second, invertibility in a rough field is defined inside the upper approximation $\overline{\mathcal{R}}$. Thus, multiplicative inverses are required to exist within the approximation closure, not necessarily within the underlying set itself. This shift from exact membership to approximation-based invertibility represents the fundamental structural distinction between classical and rough fields.

Third, unlike classical fields, a rough field may possess a non-empty boundary region. The existence of boundary elements indicates that algebraic operations are performed under uncertainty, even when the quotient structure satisfies field-like invertibility properties. Therefore, the notion of field in rough algebra is not a mere translation of the classical definition but an approximation-theoretic generalization.

Finally, Proposition 3.1 and Theorem 4.1 together establish a coherent structural hierarchy in rough algebra: Rough Field $\Rightarrow$ Rough Integral Domain and $\mathcal{R}/\mathfrak{D}$ is a rough field $\Leftrightarrow \mathfrak{D}$ is maximal rough ideal.

This shows that the fundamental architecture of classical commutative algebra survives within the upper-approximation-based framework, provided that containment and invertibility are interpreted appropriately.

6. CONCLUSION

In this paper, the concept of a rough field has been introduced in full compatibility with previously defined rough rings and rough ideals. The construction is entirely based on upper approximation closure, preserving the structural philosophy underlying rough algebra.

The main contributions of this study can be summarized as follows: A precise definition of rough fields formulated via upper-approximation-based invertibility; the introduction of maximal rough ideals defined with respect to upper approximation inclusion; a characterization theorem establishing that a rough quotient ring is a rough field if and only if the corresponding rough ideal is maximal; the demonstration that every rough field is a rough integral domain, while the converse fails in general; an explicit example illustrating the maximal rough ideal–rough field correspondence. These results complete the algebraic progression

$$\text{Rough Ring} \rightarrow \text{Rough Ideal} \rightarrow \text{Rough Quotient Ring} \rightarrow \text{Rough Field},$$

thereby extending the structural foundations of rough algebra.

Future research may focus on the study of prime rough ideals, rough localization procedures, and the development of a broader rough commutative algebra theory. In particular, investigating whether classical correspondences between prime ideals and integral domains can be fully adapted to upper-approximation-based structures remains a promising direction.

REFERENCES

1. Z. Pawlak, (1982). Rough Sets, *Int. J. Comput. Inf. Sci.*,11(5), 341–356. doi: 10.1007/978-1-4613-1461-5_1.
2. Miao, D., Han, S., Li, D. and Sun, L. (2005). Rough Group, Rough Subgroup and Their Properties, D. Ślkezak et al. (Eds.): RSFDGrC 2005, LNAI 3641, 104–113. Springer-Verlag Berlin.
3. Iwinski, T., (1987). Algebraic approach to rough sets, *Bull. Polish Acad. Sci. Math.* 35 673-683.
4. Bonikowaski, Z., (1995). Algebraic structures of rough sets, in: W.P. Ziarko (Ed.), *Rough Sets, Fuzzy Sets and Knowledge Discovery*, Springer-Verlag, Berlin, 242-247.
5. Pomykala, J., Pomykala, J. A., (1998). The stone algebra of rough sets, *Bull. Polish Acad. Sci. Math.* 36, 495-508.
6. Kuroki, N., Wang, P. P., (1996). The lower and upper approximations in a fuzzy group, *Information Sciences* 90, 203-220.

7. Cheng, W., Mo, Z., Wang, J., (2007). Notes on “the lower and upper approximations in a fuzzy group” and “rough ideals in semigroups”, Inform. Sci. 177, 5134-5140.
8. Bağırmaç, N. and Özcan, A.F. (2015). Rough Semigroups on Approximation Spaces, Int. J. of Algebra 9 (7), 339-350. <http://dx.doi.org/10.12988/ija.2015.5742>
9. Agusfianto, F.A., Fitriani, Mahatma, Y., (2022). Rough Rings, Rough Subrings and Rough Ideals, Journal of Fundamental Mathematics and Applications (JFMA) 5 (2) <https://doi.org/10.14710/jfma.v5i2.15194>.
10. Beydağı M.M., İçen, İ., Özcan, A.F. (2025). Rough Quotient Rings and Homomorphisms of Rough Rings, 9th International Conference on Computational Mathematics and Engineering Sciences, Diyarbakır, Türkiye, ISBN-77733, 236-244.

TÜRKİYE’DE İYİ TARIM UYGULAMALARI İLE BİTKİSEL ÜRETİM YAPAN TARIM İŞLETMELERİNİN EKONOMİK SONUÇLARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zir. Müh. İsmihan İmiş

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı
ismihanimis6@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3842-8056

Prof. Dr. Nevin Demirbaş

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü
nevin.demirbas@ege.edu.tr -ORCID ID:0000-0002-0541-1437

ÖZET

Gıda güvenliğine yönelik endişeler, hızla artan nüfus ve çevresel sorunlar tarımsal üretimde sürdürülebilir ve denetlenebilir üretim modellerinin önemini arttırmıştır. Bu doğrultuda İyi Tarım Uygulamaları (İTU); çevre, insan ve hayvan sağlığını koruyan, üretimin tüm süreçlerinin kayıt altına alındığı ve sertifikalandırıldığı kontrollü bir üretim sistemi olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de farklı ürün grupları ve farklı üretim bölgelerinde İTU ile bitkisel üretim yapan işletmelerin verim, gelir ve kârlılık düzeyleri ile üretim maliyetleri gibi ekonomik sonuçlarının araştırılmasıdır. Bunun için konu ile ilgili anahtar kelimeler Google Scholar, ResearchGate, DergiPark ve Ulusal Tez Merkezi gibi veri tabanlarında taranmıştır. Elde edilen araştırmaların sonuçları amaca dönük olarak sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Çalışmanın zaman kapsamı 2001-2025 yılları arasındaki dönemden oluşmaktadır.

Bir bütün olarak değerlendirildiğinde çalışmanın literatür bulguları, İTU’ya geçiş sürecinin kısa vadede bitkisel üretim yapan işletmeler için ek maliyetler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Uzun vadede ise ürün kalitesi, pazarlama avantajları ve sertifikalı üretimin sağlamış olduğu katma değer ile ekonomik açıdan daha olumlu sonuçlara ulaşıldığı belirlenmiştir. Diğer önemli bir sonuç ise, özellikle orta ve büyük ölçekli işletmelerin İTU’yu benimsemeye daha avantajlı olduğu, küçük ölçekli işletmelerin ise sertifikasyon maliyetleri ve kayıt tutma zorunlulukları nedeniyle İTU’ya geçişte zorlandıkları bulgusudur.

Literatür araştırmasına dayalı bu çalışma, İTU’nun yaygınlaştırılmasına yönelik ekonomik ve yapısal düzenlemelerin önemine dikkat çekmektedir. Ayrıca farklı bölge ve farklı ürünler için İTU ile bitkisel üretim yapmanın ekonomik sonuçlarıyla ilgili daha fazla saha araştırması yapılmasının, İTU’nun yaygınlaştırılmasına önemli çıktı katkısı sağlayacağı da değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İyi tarım uygulamaları, bitkisel üretim, ekonomik analiz, gelir, maliyet.

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, insanlık tarihinin en başından bu yana toplumların genel beslenme ihtiyacını karşılayan stratejik bir faaliyet alanı olmuştur. Dünya’da hızla artan nüfus, değişen tüketim alışkanlıkları ve küresel ölçekte yaşanan çevresel sorunlar nedeniyle tarım sektörü günümüzde daha da önemli hale gelmiştir. Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte gıda talebinin yükselmesi, tarımsal üretimde birim alandan daha yüksek verim elde etmeye yönelik politikaların benimsenmesine yol açmış; bu durum özellikle kimyasal gübre ve pestisit kullanımında belirgin bir artışı beraberinde getirmiştir(Rehber, 1991; Aba ve Işın,2014). Ancak aşırı ve bilinçsiz kimyasal gübre kullanımı, kısa vadede üretim ve verim artışı sağlasa bile uzun vadede toprak, su ve biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi olumsuzluklara neden olmuş ve insan sağlığı ile çevre açısından önemli riskler doğurmuştur. Entansif tarım uygulamaları sonucu ortaya çıkan pestisit kalıntıları, özellikle ihracatta sorunlara yol açmış ve bazı dönemlerde tarım ürünlerinin ihracatının kısıtlanmasına ve tamamıyla durdurulmasına neden olmuştur.

Bu gelişmeler, bitkisel ve hayvansal üretim sürecinde üretim zincirlerinin denetlenebilirliği ve kalite güvencesinin sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Tarımda yaşanan bu dönüşüm süreci, alternatif üretim sistemlerini de beraberinde getirmiş ve bu doğrultuda organik tarım, entegre tarım, iyi tarım uygulamaları (İTU) gibi çevreyi korumaya yönelik üretim sistemleri ortaya çıkmıştır. İTU; insan sağlığına zararlı kimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel kalıntılar içermeyen, çevreye uyumlu, sürdürülebilir üretimi esas alan, üretimin tüm aşamalarının kayıt altına alındığı, sertifikalandırıldığı kontrollü bir üretim sistemidir(FAO,2003; Tarım ve Orman Bakanlığı,2022). Bu üretim sistemi üretimden tüketime kadar olan süreçte gıda güvenliğini sağlamayı, doğal kaynakları olabildiğince korumayı ve tarımsal üretimde devamlılığı amaçlamaktadır. İTU’da kimyasal gübre ve zirai ilaç kullanımı tamamen yasaklanmamakta; ancak bu girdiler, entegre ürün yönetimi ilkeleri doğrultusunda, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyecek şekilde kontrollü olarak uygulanmaktadır (Hasdemir, 2011). Bu yönüyle İTU, konvansiyonel tarıma alternatif, ancak, uygulanabilir bir üretim modeli olarak değerlendirilmektedir. İTU; çevre, insan ve hayvan sağlığını korumanın yanı sıra tarım işletmeleri açısından ekonomik sürdürülebilirliği de amaçlamaktadır. Bu yönüyle İTU’nun özellikle bitkisel üretim yapan işletmelerin ekonomik sonuçları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi üretici refahı ve tarım sektörünün geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye’de 2004 yılında yasal altyapısı oluşturulan ve 2007 yılından itibaren uygulamaya geçirilen İTU, özellikle bitkisel üretim yapan tarım işletmeleri açısından sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir. İTU’ları benimseme sürecinde en belirleyici unsur ekonomik sonuçlar olmuştur. Bu nedendir ki, Türkiye’de İTU ile bitkisel üretim yapan tarım işletmelerinin ekonomik sonuçlarını ele alan çalışmaların bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesi, mevcut literatürün sistematik biçimde analiz edilmesi ve elde edilen bulguların karşılaştırılması, önemli bir bilimsel ve sektörel gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’de İTU ile bitkisel üretim yapan tarım işletmelerinin ekonomik sonuçlarını incelemektir. Bu amaçla Türkiye’de İTU ile bitkisel üretim yapan

tarım işletmelerinin ekonomik sonuçlarını ele alan lisansüstü tezler, bilimsel makaleler, kongre bildirileri, resmi kurum ve kuruluşların ilgili raporları taranmıştır.

Araştırmada literatür taraması yöntemi benimsenmiş olup; Google Scholar, DergiPark, ResearchGate ve Ulusal Tez Merkezi gibi çevrimiçi veri tabanları, “İyi Tarım Uygulamaları”, “İTU”, “bitkisel üretim”, “ekonomik analiz”, “verimlilik”, “üretim maliyetleri”, “kâr” ve “tarım işletmeleri” anahtar kelimeleri esas alınarak sistematik bir yaklaşımla incelenmiştir. Araştırmanın zaman kapsamı 2001-2025 yılları arasındaki dönem ile coğrafi kapsamı ise Türkiye ile sınırlıdır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. İyi Tarım Uygulamaları Kavramı ve Esasları

Tarımsal üretimin sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yeniden yapılandırılması, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda ortaya çıkan dışsallıkların azaltılmasını zorunlu hale getirmiştir. Konvansiyonel tarım yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan yoğun kimyasal girdiler, uzun vadede toprak yapısının bozulmasına, doğal kaynakların tahrip olmasına ve güvenliğine ilişkin risklerin artmasına yol açmıştır. Bu süreç, tarımsal üretimin yalnızca miktar artışı üzerinden değerlendirilmesinin yetmediğini, üretim süreçlerinin izlenebilirliği, çevresel etkileri ve üretici-tüketici arasındaki güven bağının da dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede uluslararası literatürde “Good Agricultural Practices (GAP)” adıyla tanımlanan İTU; çevreyi koruyan, insan ve hayvan sağlığını gözetken, şeffaflığı ve kalitesini sağlayan teknik ve organizasyonel işlemlerin toplamı, ekonomik açıdan sürdürülebilir tarımsal üretim için temel bir bakış açısı sunmaktadır. Geçmişe kıyasla İTU, birçok ülkede tarım politikalarının önemli bir bileşeni ve güvenli gıda üretiminin sağlanmasında etkin bir araç haline gelmiştir(FAO,2003).

Tarımsal üretimin İTU/GAP olarak kabul edilebilmesi için:

- **Çevresel Sürdürülebilirlik:** Doğal kaynakların korunması, su yönetimi, toprak sağlığının korunması ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi çevresel hedefler ön plandadır.
- **Gıda Güvenliği ve Ürün Kalitesi:** Ürünlerde pestisit kalıntılarının, mikrobiyolojik ve fiziksel risklerin minimize edilmesi; tüketicilere güvenilir ve kaliteli ürün sunulması hedeflenir.
- **Sosyal Sorumluluk:** Çiftçi ve tarımsal emekçilerin iş sağlığı ve güvenliği, eğitim, adil ücret ve uygun çalışma koşullarına dikkat edilmesini gerektirir.
- **Ekonomik Etkinlik:** Üretim maliyetleri ile verim ve kârlılık dengesinin sağlanarak ekonomik sürdürülebilirliğin korunması hedeflenir.

Yukarıda bahsedilen maddeler teorik model olmanın yanı sıra uygulamada kullanılan ulusal mevzuat ve sertifikasyon süreçlerinde de standart haline gelmiştir. Türkiye’de İTU’nun, “İyi Tarım Uygulamaları Hakkında Yönetmelik” ile hukuki altyapısı oluşturulmuş; denetim ve logo kullanımına ilişkin usul ve esaslar Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenmiştir. Bu sistemde her bir üretim işlemi kayıt altına alınmakta, kontrol kuruluşlarınca denetlenip nihai

ürünlerin İTU sertifikası ile pazara sunulması sağlanmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2010).

İTU esasları, genel itibarıyla risk odaklı yaklaşım ve entegrasyon prensipleri etrafında yapılandırılmıştır. Üretim boyunca ilk olarak çevresel ve üretimle ilişkili riskler tanımlanıp; bu riskleri önlemek veya azaltmak için teknik uygulamalar belirlenmekte ve uygulamaya geçilmektedir. Her aşama sistematik bir şekilde kayıt altına alınmaktadır. Uluslararası alanda ise GAP kavramı, FAO ve diğer küresel standartlar organizasyonları tarafından hem üretim hem de ticaret açısından bir referans genel yapısı olarak kabul görmüştür. FAO'nun GAP tanımları; üretimin ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğini bir bütün olarak ele alırken, risk önleme ve kontrol yaklaşımını vurgulamaktadır. Böylece ürünlerin güvenli, sağlıklı ve kaliteli olmasının yanında doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin oluşturulması da sağlanmaktadır (FAO, 2003). İTU ile GLOBALGAP temelde aynı prensiplere dayalı olmasına rağmen, GLOBALGAP uluslararası piyasada yer almak isteyen üretici veya kuruluşların sahip olması gereken bir belge durumundadır. İTU ise iç pazar için geçerlidir (Pilak, 2018). İyi tarım ve organik tarım yöntemleri ise birbirine benzese de, İTU kimyasal girdilerin kontrollü ve uygun ölçekte kullanımına izin vermektedir. Bu sayede özellikle pazara giriş sürecinde üreticilere kolaylık sağlanmaktadır. İTU'dan yaş sebze-meyve başta olmak üzere süs bitkileri, fide üretimi ve bazı tarla bitkileri gibi bitkisel üretim alanlarında yararlanılmaktadır.

2.2. Türkiye'de İyi Tarım Uygulamaları

Türkiye'de tarımsal üretimde çevresel sürdürülebilirlik, gıda güvenliği ve ekonomik verimlilik gibi hedeflerin birlikte ele alınması gerekliliği, İTU'nun önemini giderek artırmıştır. Özellikle 2000'li yıllardan sonra artan ihracat talepleri, gıda güvenliği açısından tüketici bilincindeki yükseliş ve Avrupa Birliği (AB) uyum süreci, Türkiye'de bitkisel üretimde İTU'nun yaygınlaşmasında belirleyici olmuştur (Ersun & Arslan, 2011). İTU, geleneksel tarım ile organik tarım yöntemlerinin arasında kalan kontrollü girdi kullanımına izin veren bir üretim modeli olarak ifade edilebilir. Türkiye'de İTU hukuki altyapısı, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan yönetmelikler ve uygulama rehberleri ile oluşturulmuştur. Bu kapsamda, tarladan sofraya, depolamadan pazarlamaya kadar tüm aşamaların izlenebilirliği esas alınmakta; sertifikasyon ve denetim mekanizmaları ile üretim süreci kontrol edilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). İTU'nun özellikle yaş meyve ve sebze üretiminde yaygınlaştığı, bunun yanında bağcılık, tarla bitkileri ve endüstri bitkilerinde de uygulama alanının giderek genişlediği görülmektedir (Aba & Işın, 2014). Bunun temel nedenleri ise ihracat odaklı üretim, tüketicinin gıda güvenliği talepleri ve sertifikalı ürünlere yönelik pazar avantajıdır.

İTU çevresel sürdürülebilirliği hedefleyen bir üretim modeli olmasının ötesinde; üretici, tüketici, perakendeci ve çevre açısından çok yönlü olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede İTU'nun ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri farklı paydaşlar bakımından ele alınmakta; üreticilerin rekabet gücünü arttırması, tüketicilere güvenli gıda sunması ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi gibi avantajları öne çıkmaktadır. Buna ek olarak perakendeciler

için tedarik zincirinde güven oluşturulmasıyla çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge1:İyi Tarım Uygulamalarının Farklı Paydaşlar Açısından Sağladığı Avantajlar

Üreticiler Açısından	• Ülke içinde ve dışında tercih edilme sebebidir. • Eşit rekabet şartlarında önde olmayı sağlar. • Perakendecilerle nitelikli anlaşma sağlar. • Kaliteli ürün yetiştiriciliğine olanak tanır. • Üretim maliyetlerinde uzun vadede azalış sağlarken, kâr oranlarında artış imkanı verir.
Tüketiciler Açısından	• Gıda güvenliği ve insan sağlığı ile ilgili riskleri azaltır. • Ürünün kaynağı hakkında yeterli bilgiyi verir. • Üründe kalite ve güvenilirlik sağlar. • Tüketicilerin besin ve gıda tüketimindeki güvenlik talepleri ile örtüşür.
Perakendeciler Açısından	• Çiftçiler ile uygun anlaşma sağlar. • Kullanılan ürünün güvenliği perakendeciler tarafından yeterince bilgi verildiği takdirde tüketici endişesi ortadan kalkar. • Yasal olarak uygunluk gösteren ürünlerle ilgili yaptırımlar engellerin ortadan kalkmasına olanak sağlar.
Çevre Açısından	• Biyolojik çeşitliliğin korunması ile sürdürülebilir tarımda sorumluluk alan üreticilerin ekosistemdeki zararları azaltılmış olur. • Tarımın çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur.

Kaynak: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, 2010.

İTU'nun Türkiye'de yaygınlaşmasında üreticilerin eğitim düzeyi, işletme büyüklüğü, pazara erişim ve devlet destekleri ön plana çıkmaktadır. Bu noktada özellikle devlet destekleri, danışmanlık hizmetleri ve eğitimler gibi teşvik edici uygulamalar üreticilerin İTU'ya geçiş süreçlerinde önemli rol oynamaktadır(Uysal ve ark., 2021). Türkiye'de İTU; bitkisel üretimde

çevresel duyarlılığı arttıran, gıda güvenliğini güçlendiren, uzun vadede işletmelerin ekonomik etkinliğini olumlu yönde etkileyen bir üretim modeli olarak ele alınmaktadır.

3.TÜRKİYE’DE İYİ TARIM UYGULAMALARI İLE ÜRETİM YAPAN İŞLETMELERİN EKONOMİK SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Türkiye’de İTU’yu benimseyen bitkisel üretim işletmelerinin ekonomik performansı, son yıllarda hem üreticilerin gelir düzeyi hem de tarımsal sürdürülebilirlik açısından araştırmacıların odaklandığı bir konu olmuştur. Literatürde, İTU ile üretim yapan işletmelerin üretim maliyetleri ile verim düzeyleri arasındaki ilişki sıklıkla incelenmiş ve İTU sistemine geçişin başlangıçta ek maliyetlere neden olabileceği; buna karşın uzun vadede kalite ve pazar erişim avantajları ile bu maliyetlerin telafi edildiği belirtilmiştir (Aktürk ve ark., 2014). Nitekim üzüm yetiştiriciliği yapılan bir alanda yapılan çalışmadan elde edilen verilerle İTU uygulanan işletmelerin toplam maliyetlerini daha etkili yönettikleri ve geleneksel tarıma kıyasla daha yüksek gelir elde edildiği belirlenmiştir (Aydın ve ark., 2017). Benzer şekilde yine bağcılık üzerine yapılan bir araştırmada, İTU’ya geçen üreticilerin bilgi düzeylerinin artmasıyla birlikte üretim süreçlerinin optimize edildiği ve bu optimizasyonun ekonomik performansla olumlu yansıdığını gösterilmiştir (Alemdar ve ark., 2019). Yapılan bir başka araştırmada (Çizelge 2) narenciye ve sebze üretiminde İTU’nun verim düzeyi ve kârlılık üzerinde olumlu etkiler yarattığı ancak küçük ölçekli aile işletmelerinin sertifikasyon ve kayıt masrafları nedeniyle bu faydalardan yararlanamadığı belirtilmiştir (Aydın Eryılmaz&Kılıç, 2018). Bu bulgular, ekonomik sonuçların sadece maliyet-gelir dengesini kapsamadığını aynı zamanda pazar olanakları, ürün kalitesi ve sertifikalı ürün talebi gibi faktörlerinde önemli sonuçlar olduğunu vurgulamaktadır. İTU ile üretim yapan işletmelerde ekonomik sonuçlar incelenirken desteklemelerin rolünün de büyük ölçüde etkili olduğu belirtilmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sağlanan teşvikler ve eğitim programlarının, üreticilerin İTU uygulamalarına katılımını artırdığı ve buna bağlı olarak ekonomik sonuçların iyileşmesine katkı sağladığı da üzerinde durulan sonuçlar arasındadır(Uysal ve ark.,2021).

Çizelge 2: İyi Tarım Uygulamalarına Yönelik Çalışmaların Çıktıları

Yazar (Yıl)	Ürün / Bölge	Yöntem	Ekonomik Bulgular
Aktürk ve ark., (2014)	Şeftali – Kiraz / Çanakkale	Karşılaştırmalı maliyet-gelir analizi	İTU ile üretim yapan işletmelerde üretim maliyetleri başlangıçta yüksek olmakla birlikte, ürün kalitesi ve pazarlama avantajları sayesinde net gelir artışı sağlanmıştır.
Aydın ve ark.,(2017)	Üzüm / Trakya Bölgesi	Ekonomik analiz, brüt marj karşılaştırması	İTU ile üretim yapan işletmelerde birim alandan elde edilen gelir daha yüksek bulunmuş, uzun vadede kârlılığın arttığı belirlenmiştir.

Aydın Eryılmaz & Kılıç (2018)	Çeşitli bitkisel ürünler / Türkiye	Gelir analizi, desteklemelerin değerlendirilmesi	İTU desteklerinin üretici gelirlerinde artış sağladığı, ancak destek miktarının küçük ölçekli işletmeler için yetersiz kaldığı tespit edilmiştir.
Pilak, (2018)	Zeytin/ Balıkesir, Bursa, Tekirdağ	Anket ve tanımlayıcı istatistikler	İTU ile yetiştirilen zeytin ve bunlardan elde edilen zeytinyağı fiyatlarında belirgin bir fiyat farkının olmaması üreticilerin İTU'ya olan ilgisini olumsuz etkilemektedir.
Alemdar ve ark.,(2019)	Bağcılık / Manisa (Salihli)	Anket ve tanımlayıcı istatistikler	Üreticilerin bilgi düzeyi arttıkça girdi kullanımında etkinlik sağlanmış, bu durum ekonomik performansa olumlu yansımıştır.
Uysal ve ark., (2021)	Sebze üretimi / Mersin	Lojistik regresyon analizi	Devlet destekleri ve eğitim düzeyi, İTU'nun benimsenmesini ve dolayısıyla işletme gelirlerini olumlu yönde etkilemektedir.
Tüccar ve ark., (2022)	Fındık/Sakarya	Anket ve tanımlayıcı istatistikler	İTU ile üretim yapan üreticiler daha fazla fındık verimi elde ettiklerini beyan etmişlerdir. Fındık üretiminde İTU'nun sürdürülebilir tarım açısından olumlu avantajları belirlenmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de İTU ile üretim yapan işletmelerin ekonomik sonuçlarının olumlu olduğu ve bu durumu etkileyen faktörlerin işletme ölçeği, ürün çeşidi, üreticilerin demografik özellikleri ile desteklemelere bağlı olduğu belirlenmiştir.

Yine, Türkiye’de İTU ile üretimi benimseyen işletmelerin ekonomik performansının, üretim maliyetlerini düşürmekle sağlanamayacağını maliyetlerin yanı sıra ürünün kalitesi, sertifika ile desteklenmesi ve üretici örgütlenmesi gibi çok boyutlu faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda İTU’nun pazar değeri yaratma potansiyeli ve bu olanakların işlevsel kullanımının sürdürülebilir tarımsal kalkınma hedefleriyle de yakından ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

Literatürde var olan çalışmalar neticesinde ağırlıklı olarak İTU’dan büyük ve orta ölçekli işletmelerin yararlandığı tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedenleri arasında sertifikasyon

sürecinde oluşan maliyetler, kayıt tutma zorunluluğu, teknik bilgi-danışmanlık yetersizliği ve denetim süreçlerinin küçük ölçekli işletmeler için ek bir yük oluşturmaktadır (Sayın & Mencet, 2009; Pilak, 2018; Hasdemir, 2011). Arazi büyüklüğü arttıkça İTU standartlarının uygulanabilirliği ve ekonomik olarak karşılanabilirliğinin daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. İTU ile üretim yapan tarımsal işletmelerin ortalama arazi büyüklüklerinin diğer bölgelere kıyasla daha büyük olduğu ve Trakya, Ege ve Akdeniz bölgelerinde daha sistematik ve planlı üretim yaptıkları ortaya çıkmıştır. Bu duruma tezatla küçük ölçekli işletmelerde ise İTU'ya geçiş oranının düşük olduğu, geçiş yapanların ise yüksek oranla kooperatifler veya üretici birlikleri aracılığıyla bu süreci yürüttükleri belirlenmiştir (Uysal ve ark., 2021; Tüccar, 2022). İncelenen araştırmalarda (Çizelge 2) işletme büyüklüklerinin İTU'nun benimsenmesini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilediği ve bilhassa 50 dekar ve üzeri tarım arazisine sahip işletmelerin İTU'ya daha yatkın olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde bağcılık ve meyvecilik üzerine yapılan araştırmalar da, geniş araziye sahip işletmelerin sertifikalı üretim sayesinde pazarlama avantajı elde ederek ölçek ekonomilerinden daha etkin biçimde yararlandıklarını göstermektedir (Alemdar ve ark., 2019). Bununla birlikte bazı araştırmalarda küçük ölçekli aile işletmelerinin de kabul edilebilir politikalar, yayım çalışmaları ve danışmanlık hizmetleri ile İTU üretim sistemine dahil olabileceği sonucuna varılmıştır (Pilak, 2018).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu literatür araştırmasında, Türkiye'de İTU ile bitkisel üretim yapan işletmelerin ekonomik sonuçları incelenmiş olup; İTU'nun üretim maliyetleri, gelir düzeyi ve verim gibi doğrudan, kalite ve pazarlama olanakları gibi dolaylı ekonomik sonuçları, daha önce yapılan çalışmalar itibarıyla değerlendirilmiştir.

Yapılan araştırmaların sonuçları, İTU'nun kısa vadede üretim maliyetlerini arttırdığı fakat uzun vadede verim artışı, ürün kalitesi ve pazarlama avantajları sayesinde üreticilerin gelirlerinde olumlu etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda sertifikalı ürünlerin pazarda daha yüksek fiyatla satışa sunulması İTU'nun ekonomik olarak sürdürülebilir olmasını destekler niteliktedir. Türkiye'de İTU ile yapılan bitkisel üretimde çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği açısından da önemli kazanımlar elde edildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, bölgesel, yapısal ve ekonomik koşullara bağlı olarak işletmeler arasında farklı sonuçlar da ortaya çıkmaktadır. Nitekim, Türkiye'de Trakya, Ege ve Akdeniz bölgelerinde yüksek üretim potansiyeline sahip tarımsal işletmelerde, İTU'nun daha sistematik ve işlevsel şekilde uygulandığı; bu işletmelerin üretimin planlamasından pazarlamasına kadar İTU sürecini daha rahat bir şekilde yönetebildiği belirlenmiştir. Bu duruma ek olarak sertifikalı ürünlerin ihracat potansiyelinin yüksek olması üretici açısından da ekonomik fırsatları beraberinde getirmiştir. Literatürden elde edilen bulgular, işletme ölçeklerinin bu üretim modeli için önemli bir kriter olduğunu vurgulamaktadır. Üretim maliyetlerinin artması, kayıt tutma zorunluluğu ve denetim süreçleri, bazı üreticiler açısından İTU'ya geçişte sınırlayıcı unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Hasdemir, 2011; Demirbaş, 2019). Dolayısıyla İTU'nun daha yaygın ve işlevsel kullanılabilmesi için bölgesel koşulları ve işletme büyüklüklerini önemseyen kamu destekleri ve eğitim faaliyetlerinin güçlendirilmesi önerilmektedir.

İTU, uygun politika ve desteklemelerle hem ekonomik sürdürülebilirlik hem de gıda güvenliği açısından Türkiye tarımı için önemli bir alternatif üretim modeli haline gelmiştir. Fakat bu üretim modelinin yaygınlaşabilmesi için ekonomik teşviklerin yeniden gözden geçirilip güçlendirilmesi, danışmanlık hizmeti ve eğitimlerin artırılması ve pazarlama kanallarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu genel beklentilerin yanı sıra literatürden elde edilen sonuçlara bağlı olarak konu ile ilgili bazı öneriler aşağıda ayrıntılandırılmıştır. Bunlar;

- İTU'nun yaygınlaştırılması için küçük ölçekli işletmeleri esas alan sertifikasyon ve denetim maliyetlerini minimize edici destek mekanizmaları üzerinde çalışılmalıdır.
- Dışsattım potansiyel ve olanaklarının değerlendirilmesi açısından GLOBALGAP'a ait uygulama prensipleri ile İTU prensipleri eşleştirilmelidir.
- İTU ile üretilen ürünlere yönelik iç pazarda tüketici farkındalığı için tanıtım çalışmaları yapılmalıdır.
- Üretici örgütlenmeleri ile küçük ölçekli işletmelerin pazarlama olanakları artırılıp; ölçek ekonomisinden yararlanılmalıdır.
- Üreticilerin İTU konusunda bilgi ve bilinç düzeylerinin arttırılmasına yönelik sürekli ve uygulamalı eğitim programları, danışmanlık hizmetleri ve yayım çalışmaları yaygınlaştırılmalıdır.
- Saha araştırmalarının sayısı arttırılmalı ve yapılacak çalışmalarda İTU'nun uzun dönem kârlılık, risk yönetimi ve çevresel maliyetleri üzerindeki etkileri nicel analizlerle değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Aba, Ö., Işın, F. Türkiye'de İyi Tarım Uygulamalarının Gelişimi ve Yaygınlaştırılması. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 1(1): 23-34, 2014.
2. Aktürk, D., Savran, F., Niyaz, Ö. Tarımda Konvansiyonel Üretim ile İyi Tarım Uygulamalarının Karşılaştırılması: Çanakkale İlinde Şeftali ve Kiraz Örneği, 11. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, s:748-755, 2014.
3. Alemdar, Ö., Ataseven, Y., Akkurt, M. Bağcılıkta İyi Tarım Uygulamaları Hakkında Üreticilerin Bilgi Düzeyinin İncelenmesi: Manisa İli, Salihli İlçesi Örneği, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(1): 151-159, 2019.
4. Aydın Eryılmaz, G. ve Kılıç, O. İyi Tarım Uygulamalarına Geçiş Gösteren Gelirlerdeki Değişimin ve İyi Tarım Desteğinin Uygunluğunun Belirlenmesi. *Akdeniz Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(2): 123-127, 2018.
5. Aydın, B., Kiracı, M.A., Aktürk, D. Özkan, E. Üzüm Yetiştiriciliğinde İyi Tarım Uygulamalarının Ekonomik Analizi: Trakya Bölgesi Örneği. *Türkiye Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(4): 402-408, 2017.
6. Demirbaş, N. İyi Tarım Uygulamaları ile Meyve Bahçelerinde Ortaya Çıkan Üretim, Hasat ve Hasat Sonrası Kayıpları Azaltılabilir Mi?, XII. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongresi, 20-21 Nisan 2019, Plovdiv, Bulgaristan, s. 289-296, 2019.
7. Ersun, N., Arslan, K. Türkiye'de Organik Tarım ve İyi Tarım Uygulamaları: Üretim ve Pazarlama Esasları, İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 2010-101, İstanbul, 2011.

8. FAO, İyi Tarım Uygulamaları İçin Bir Çerçeve Geliştirilmesi. Tarım Komitesi (COAG), Roma, 2003. (<http://www.fao.org/docrep/meeting/006/y8704e.htm>) Erişim Tarihi:11.11.2025).
9. Hasdemir, M., *Kiraz Yetiştiriciliğinde İyi Tarım Uygulamalarının Benimsenmesini Etkileyen Faktörlerin Analizi*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
10. Pilak, C., *Zeytinde İyi Tarım Uygulaması Yapan Üreticilerin Yetiştiriciliğe Karşı Eğilimlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 2018.
11. Rehber, E., *Tarımda Çevre Sorunları ve Alternatif Üretim Sistemleri*, Uludağ Üniversitesi Yayınları No:7; 45-47, Bursa, 1991.
12. Sayın, C., Mencet, N. İyi Tarım Uygulamaları ve Yaş Meyve ve Sebze Ticaretine Etkileri, Standart Dergisi, 48(1): 56-61, 2009.
13. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı., *İyi Tarım Uygulamaları Rehberi*, Ankara, 2010.
14. Tarım ve Orman Bakanlığı, *İyi tarım uygulamaları*, 2022.
<https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Iyi-Tarim-Uygulamalari>
15. Tarım ve Orman Bakanlığı, Türkiye Tarım Politikaları ve Uygulamaları Raporu, Ankara, 2010.
16. Tüccar, M., Turhan, Ş., Cansev, A. Türkiye’de İyi Tarım Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Fındık Üreticilerinden Bir Bakış, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1): 227-243, 2022.
17. Uysal, O., Aydın, B., Subaşı, O.S., Aktaş, E. Üreticilerin İyi Tarım Uygulamalarına Yaklaşımı ve Uygulamaların Benimsenmesini Etkileyen Faktörler: Mersin İli Örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 8(3): 759-771, 2021.

TÜRKİYE’DE KOYUN, KEÇİ VE MANDA SÜTÜ VE ÜRÜNLERİNE YÖNELİK TÜKETİCİ TERCİHLERİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Zir. Müh. İsmihan İmiş

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı
ismihanimis6@gmail.com -ORCID ID: 0000-0003-3842-8056

Prof. Dr. Nevin Demirbaş

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü
nevin.demirbas@ege.edu.tr -ORCID ID:0000-0002-0541-1437

ÖZET

Türkiye’de süt ve süt ürünleri üretiminde inek sütü baskın olmakla birlikte; koyun, keçi ve manda sütleri ve ürünleri besleyici özellikleri, yöresel ürün çeşitliliği ve duyuşal nitelikleri açısından önemli bir üretim potansiyeline sahiptir. Büyük ölçüde geleneksel yöntemlerle bölgesel olarak üretilen koyun sütü yüksek peynir randımanı ve yoğun lezzeti, keçi sütü kolay sindirilebilir olması ve fonksiyonel özellikleri, manda sütü ise yüksek yağ ve protein içeriğiyle ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de üretilen koyun, keçi ve manda sütü ve bu sütlerden elde edilen ürünlere yönelik tüketici tercihlerini etkileyen faktörlerin, yayımlanmış akademik çalışmaların sistematik değerlendirmesi ile belirlenmesidir. Çalışmanın literatür kapsamı 2001-2025 yılları arasındaki dönemde yayımlanmış tezler, araştırma makaleleri ve kongre bildirilerinden oluşmaktadır. Literatür taraması konu ile ilgili anahtar kelimeler aracılığıyla Google Scholar, ResearchGate, DergiPark ve Ulusal Tez Merkezi gibi veri tabanlarında yapılmıştır.

İncelenen çalışmalar; koyun, keçi ve manda sütü ve ürünlerine ilişkin tüketici tercihlerinin ürünlerin aroması, lezzet özellikleri, besin değeri ve fiyat düzeyine bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Tüketicilerin sağlık algısı ile sosyo-ekonomik ve demografik özellikleri de tüketim davranışlarını şekillendirmektedir. Söz konusu ürünlerin pazarlama kanallarının sınırlı olması, yüksek fiyat algısı, markalaşmanın ve reklamın yetersiz kalması gibi faktörler ise bu ürünlerin tüketiminin artmasını ve yaygınlaşmasını kısıtlamaktadır.

Literatür taramasından elde edilen bilgiler, koyun, keçi ve manda sütü ve ürünlerinin Türkiye süt sektöründe katma değer yaratma potansiyeline sahip önemli alternatif ürünler olduğunu, ancak, mevcut potansiyelin değerlendirilmesi ve söz konusu ürünlerin tüketimlerinin artırılması için üretim ve pazarlama politikalarının güçlendirilmesi, bu sütlerden elde edilen yöresel ürünlerin çeşitli aşamalarda desteklenmesi ve ürün özellikleri konusunda tüketici bilincinin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Koyun sütü ve ürünleri, keçi sütü ve ürünleri, manda sütü ve ürünleri, tüketici tercihleri.

1.GİRİŞ

İnsan sağlığı açısından mükemmel bir gıda olan süt ve süt ürünleri yüzyıllardır vazgeçilmez bir beslenme unsuru olmuştur. İnsan beslenmesinde temel bir gıda grubu olan söz konusu ürünler; protein, kalsiyum, vitamin vb. önemli besin öğelerinin temininde büyük rol oynamaktadır. Günlük protein ihtiyacının önemli bir kısmının hayvansal kaynaklardan karşılanıyor olması süt ve süt ürünlerinin insan beslenmesindeki yerini daha da önemli hale getirmektedir (Yücecan, 2008). Dünya genelinde süt üretiminin büyük çoğunluğu inek sütünden oluşsa da koyun, keçi ve manda gibi diğer hayvanların sütleri de ekonomik süreçlere konu olmaktadır. Nitekim, Türkiye’de de süt ve süt ürünleri üretim ve tüketiminde inek sütü baskın olmakla birlikte; koyun-keçi-manda sütü ve ürünlerinin üretim ve tüketimi özellikle bazı bölgelerde yaygındır. 2024 yılı TÜİK verilerine göre, Türkiye’de toplam çiğ süt üretiminin %93,56’sı inek sütüne aittir. Diğer sütler içinde, koyun sütü %4,03’lük pay ile keçi ve manda sütünün önünde yer almaktadır (TÜİK, 2025).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de katma değerli süt ürünleri üretim ve tüketimi açısından koyun, keçi ve manda sütleri bölgesel ve yöresel özellikli gıda ürünleri üretim ve tüketim trendlerinde yerlerini giderek daha fazla almaktadır.

Türkiye’de farklı hayvanlardan elde edilen süt ve süt ürünleri tüketimi; ekonomik faktörler başta olmak üzere beslenme alışkanlıkları, gelir düzeyi, eğitim düzeyi, sağlıklı yaşam bilinci ve demografik yapı gibi farklı etmenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Son yıllarda özellikle beslenme alışkanlıklarının değişmesiyle daha zengin besin içeriğine sahip olduğu bilinen koyun, keçi ve manda sütü gibi alternatif süt ve ürünlerine olan talep artmaya başlamıştır. Söz konusu sütler daha çok peynir, yoğurt ve diğer fermente süt ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Koyun sütü yüksek yağ ve kuru madde içeriğiyle peynir verimi açısından öne çıkarken; keçi sütü lezzet, aroma ve sindirilebilirlik özellikleriyle dikkat çekmektedir (Çayır & Güzeler, 2020). Manda sütü ise protein, mineral ve toplam kuru madde içeriğinin yüksek olması nedeniyle daha çok kaymak, yoğurt ve peynir üretiminde tercih edilmektedir (Ergöz, 2017). Koyun-keçi-manda sütü ve ürünlerine olan talebin artması, öncelikli olarak yerel üretim ve geleneksel gıda kültürünün devamı ve sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de koyun-keçi-manda sütü ve ürünlerine yönelik tüketici tercihlerini araştıran akademik çalışmaların sistematik bir şekilde incelenip; tüketicilerin bu ürünlere yönelik tercih nedenleri ve satın alma kararlarını etkileyen faktörlerin değerlendirilmesidir. Bu nedenle çalışmanın hazırlanmasında öncelikle araştırma makaleleri, tezler ve bildiriler taranmıştır. Konu ile ilgili genel bilgiler ve makro veriler için ise resmi istatistiklerden yararlanılmıştır.

Çalışmanın literatür taraması için zaman kapsamı, 2001-2025 yılları arasındaki zaman diliminden oluşmaktadır. Makro veriler için ise, 2014-2024 yılları arasındaki dönem ele alınmış olmakla birlikte, resmi istatistiklerde verilerin bulunamadığı bazı yıllar, farklı veriler için paralel dönemlerde karşılaştırma yapmayı sınırlamıştır. Çalışmanın coğrafi kapsamı ise Türkiye ile sınırlandırılmıştır. Araştırma kapsamında literatür taraması sistematik bir yaklaşımla yürütülmüştür. Literatür taraması esnasında kaynaklar “koyun sütü ürünleri”, “keçi

sütü ürünleri”, “manda sütü ürünleri”, “tüketici tercihleri” ve “satın alma kararı” gibi anahtar kelimeler esas alınarak; Google Scholar, ResearchGate, DergiPark ve Ulusal Tez Merkezi gibi çevrimiçi veri tabanlarında yapılmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Türkiye’de Koyun Sütü ve Ürünleri Üretimi, Pazarlaması ve Tüketimi

Koyun yetiştiriciliği keçi yetiştiriciliğine benzer olup; Türkiye hayvancılık sektöründe önemli bir yere sahiptir. Koyun sütü özellikle peynir üretiminde önemli bir hammadde kaynağıdır. 2014 yılı TÜİK verilerine göre 31.140.244 baş koyun tespit edilmiş; 2020 yılında koyun varlığı artış göstererek 42.126.781 adede ulaşmıştır. Çalışmada ele alınan dönem boyunca koyun sayısı artış göstererek 2024 yılında 44.080.584’e ulaşmıştır (TÜİK, 2025).

Koyun çiğ süt üretim miktarı 2020 yılında 1.101.065 ton, 2022 yılında 1.067.342 ton ve 2024 yılında ise 906.945 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2025). Bu durum koyun varlığındaki artışa rağmen koyun çiğ sütü üretim miktarında dönemsel dalgalanmaların söz konusu olduğunu ortaya koymaktadır. Koyun sütünden elde edilen peynir üretim miktarları ise; 2014 yılında 534 ton, 2020 yılında 1050 ton ve 2024 yılında ise 4.188 tona ulaşarak önemli bir artış göstermiştir (TÜİK, 2025). Koyun sütü üretimindeki dalgalanmaya rağmen peynir üretimindeki artış, koyun sütünün katma değerli ürünlere yönlendirilme eğiliminin güçlendiğini göstermektedir.

Türkiye’de koyun yetiştiriciliğinin yoğunluğu paralelinde süt üretimi de Doğu Anadolu Bölgesi ağırlıklı olmak üzere, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve ardından İç Anadolu Bölgesi’nde yoğunlaşmaktadır. Koyun sütü; yüksek yağ, protein ve kuru madde içeriği sayesinde süt ürünleri üretiminde verimlilik açısından avantaj sağlamaktadır. Koyun sütü, özellikle beyaz peynir, tulum peyniri ve salamura peynir üretiminde kullanılmaktadır (Çelik, 2015; Zengin, 2019).

Koyun sütü ve ürünleri, daha çok yöresel ve geleneksel ürünlerin üretiminde değerlendirilmekte ve ürünlerin üretim ve tüketimi bölgesel farklılıklar gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak, koyun sütü ürünlerinin pazarlaması da genellikle yerel ve bölgesel pazarlama kanalları aracılığıyla yapılmaktadır. Koyun sütü ürünleri yapısal olarak küçük ölçekli aile işletmeleri tarafından üretilmekte ve bulunduğu bölgedeki en yakın üretici pazarlarına veya mandıralara götürülerek sınırlı bir coğrafya içinde tüketici ile buluşmaktadır. Pazarlama sürecindeki en önemli sorunlar; kalite standardizasyonu, hijyen koşulları ve ambalajlama yetersizlikleri olarak sıralanmaktadır (Ocak & Önder, 2014).

FAO verileri, Türkiye’de koyun sütü tüketiminin zaman içerisinde değişen bir seyir izlediğini göstermektedir. Kişi başına yıllık koyun sütü tüketim miktarı 2014 yılında 2,80 litre düzeyinde iken, 2020 yılında 2,47 litreye gerilemiştir. 2023 yılı itibarıyla kişi başına yıllık koyun sütü tüketimi ise 2,08 litredir (FAO, 2025). Bu durum, koyun sütü tüketiminin zaman içerisinde azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2.2. Türkiye’de Keçi Sütü ve Ürünleri Üretimi, Pazarlaması ve Tüketimi

Keçi yetiştiriciliği ve keçi sütü üretimi, Türkiye'nin özellikle dağlık ve kırsal alanlarında geleneksel olarak yaygın bir şekilde yapılmaktadır. Türkiye'de keçi yetiştiriciliği ekseriyetle küçük aile işletmeleri için önemli bir tarımsal faaliyet olup; önemli bir gelir kaynağı niteliğindedir. TÜİK verilerine göre yıllar içinde değişkenlik gösteren keçi sayısı; 2014 yılında 10.344.936 adet iken, bu sayı artış göstererek 2020 yılında 11.985.845 adede ulaşmıştır. 2024 yılında ise keçi sayısı 10.822.084 olarak belirlenmiştir(TÜİK, 2025).

Keçi sütü üretim miktarları 2020 yılında 589.617 ton iken; 2022 yılında 540.246 ton ve 2024 yılında ise 482.247 tona gerilemiştir. Keçi peyniri üretim miktarı ise 2014 yılında 651 ton, 2020 yılında 385 ton ve 2024 yılında 588 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2025).

Keçi sütü üretimi; Akdeniz, Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmakta ve bölgesel üretim yapısı, tüketim alışkanlıkları üzerinde de belirleyici olmaktadır (Paksoy & Özçelik, 2008; Engindeniz ve ark., 2015). Keçi sütü, sindirilebilirliğinin yüksek olması ile son yıllarda toplumda artan sindirim problemlerine daha az yol açması nedeniyle inek sütüne alternatif hale gelmiştir.

Keçi sütü ve ürünlerinin pazarlaması daha çok yerel pazarlama kanalları üzerinden gerçekleşmektedir. Elde edilen ürünler mandıralar, halk pazarları ve yerel marketler gibi sınırlı satış noktalarında tüketici ile buluşmaktadır. Bununla birlikte, bazı büyük üretici firmaların ürünleri büyük süper ve hiper marketlerde de satışa sunulmaktadır. Pazarlama kanallarının bu denli kısıtlı olması hem üretici hem de tüketici açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Ürünlerin raf ömrünün kısa olması, markalaşmanın yetersiz olması, üretici ve tüketicinin bahsi geçen pazarlama kanalları dışında bir araya gelememesi keçi sütü ve ürünlerinin geniş kitlelere ulaşmasına engel olmaktadır.

Türkiye'de keçi sütü, ağırlıklı olarak peynir üretiminde kullanılmakta olup; bunun yanı sıra yoğurt, tereyağı, dondurma ve fermente süt ürünlerinin üretiminde de değerlendirilmektedir (Engindeniz ve ark., 2017). Keçi sütünün fermente süt ürünlerinde kullanımına yönelik yapılan çalışmalar, bu sütün teknolojik açıdan yoğurt ve probiyotik fermente ürün üretimine uygun olduğunu ve fonksiyonel ürün geliştirme potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır (Karagözlü ve ark., 2024).

Türkiye'de keçi sütü tüketimi, incelenen dönemde belirgin bir artış göstermektedir. Kişi başına yıllık keçi sütü tüketimi 2014 yılında 5,03 litre iken, 2020 yılına gelindiğinde tüketim miktarı artış göstererek 5,70 litre olarak gerçekleşmiştir. 2023 yılı itibarıyla kişi başına yıllık keçi sütü tüketimi 5,21 litre olarak hesaplanmıştır(FAO,2025).

2.3. Türkiye'de Manda Sütü ve Ürünleri Üretimi, Pazarlaması ve Tüketimi

Türkiye hayvancılık sektörü içinde manda yetiştiriciliği, manda sütü ve ürünlerinin üretimi önemli bir yere sahip olmasına karşın uzun yıllar boyunca göz ardı edilip büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde arka planda kalmıştır. TÜİK 2014 yılı verilerine göre Türkiye'de 122.114 adet manda mevcut iken, 2020 yılında bu sayı 192.489'a ulaşmıştır. Bununla birlikte, 2024 yılına gelindiğinde manda sayısı 162.051 adede gerilemiştir(TÜİK, 2025). Hayvan sayısındaki azalışa rağmen özellikle kırsal bölgelerde geleneksel yöntemlerle sürdürülen manda yetiştiriciliği, son

yıllarda artan tüketici farkındalığı ve katma değeri yüksek ürünlere olan talep sayesinde yeniden önem kazanmaya başlamıştır (Borghese & Mazzi, 2005; Şahin,2016).

2020 yılında manda sütü üretimi 63.767 ton, 2022 yılında 43.589 ton ve 2024 yılında 58.122 ton olarak gerçekleşmiştir. Manda çiğ sütünden elde edilen peynir üretim miktarı, 2014 yılında 35 ton, 2020 yılında 132 ton ve 2024 yılında ise 344 tona ulaşmıştır(TÜİK, 2025).

Manda sütü; yüksek yağ, protein ve kuru madde içeriği ile inek sütüne kıyasla daha zengin bir içeriğe sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle manda sütü özellikle geleneksel ve yöresel ürünlerin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Pamuk & Gürler, 2010; Kocatürk ve ark., 2019).Türkiye’de manda sütünden elde edilen ürün çeşitleri, inek sütünden elde edilenlerden çok farklı olmamakla birlikte manda sütü çoğunlukla kaymak, yoğurt, peynir, dondurma ve tereyağı olarak değerlendirilmektedir. Manda sütü diğer sültere göre daha yüksek yağ ve protein içeriğine sahip daha yoğun kıvamda olduğu için ürünlerin lezzeti ve kıvamı tüketici talebi üzerinde etkili olabilmektedir. Türkiye’de manda sütü üretimi bölgesel farklılık göstermekte ve başta Marmara Bölgesi olmak üzere Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmaktadır (Şahin, 2016; Aydoğdu & Şahin, 2022).

Türkiye’de manda sütü tüketimi son derece düşük düzeydedir. Nitekim, 2014 yılında kişi başına yıllık manda sütü tüketimi 0,12 litre, 2020 yılında 0,14 litre ve 2023 yılında ise 0,09 litre olarak gerçekleşmiştir (FAO,2025).

3. KOYUN-KEÇİ-MANDA SÜTÜ ve ÜRÜNLERİNE YÖNELİK TÜKETİCİ TERCİHLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Süt ve süt ürünleri tüketimi, bireylerin beslenme alışkanlıkları, sağlık algıları ve sosyo-ekonomik özellikleri doğrultusunda şekillenmektedir. Ürünlere yönelik tüketici tercihlerini etkileyen öncelikli faktörler ise fiyat, lezzet, aroma, üretim yöntemi ve güvenilirlik algısıdır. Türkiye’de yerleşik tüketim alışkanlıkları çerçevesinde inek sütü ve ürünleri yaygın olarak tercih edilmekle birlikte, son yıllarda koyun, keçi ve manda sütü gibi alternatif hayvansal süt türlerine yönelik tüketici ilgisinin belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Ürünlerin bazı duysal özellikleri sınırlayıcı bir unsur olabilmektedir(Çelik, 2015; Zengin, 2019). Bu süt türleri ve ürünlerinin tüketimi geleneksel beslenme alışkanlıklarının sürdürüldüğü kırsal bölgelerde daha yaygın olmakla birlikte; kentleşmenin artması, sağlıklı ve fonksiyonel gıdalara olan ilginin yükselmesi ve bilinçli tüketici kitlesinin artmasıyla birlikte kentsel alanlarda da talep artışı gözlenmektedir(Mosawi, 2022; Salcı, 2025). Bu bölümde koyun- keçi- manda sütü ve ürünlerine yönelik tüketici tercihleri; sosyo-ekonomik ve demografik faktörler, ürün özellikleri ve sağlık algısı ile pazarlama- fiyat ve erişebilirlik başlıkları altında incelenmiştir.

3.1. Sosyo-Ekonomik ve Demografik Faktörlerin Tüketici Tercihlerine Etkisi

Literatürde, manda sütü ve ürünlerinin tüketiminin daha çok belirli bölgelerde yoğunlaştığı ve tüketici tercihlerinin geleneksel alışkanlıklar, ürünün lezzeti ve algılanan besin değeri gibi faktörlerden etkilendiği belirtilmektedir (Şahin, 2016; Boyraz, 2024). Benzer şekilde keçi ve koyun sütü ve ürünleri de çoğunlukla belirli tüketici grupları tarafından tercih edilmekte; alışkanlıklar, kültürel bağlar ve bölgesel üretim yapısı tüketim kararlarını belirgin biçimde etkilemektedir (Özcan, 2011; Tütenk, 2019). Türkiye’de koyun- keçi- manda sütü ve ürünlerine

yönelik tüketim, bireylerin sosyo-ekonomik ve demografik özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gelir düzeyi, eğitim durumu, yaş, cinsiyet, hane halkı büyüklüğü ve ailede çocuk bulunması gibi değişkenler, tüketim miktarı ve ürün tercihlerinde belirleyici olmaktadır (Şimşek & Açıkgöz, 2011; Çebi ve ark., 2018). Yapılan çalışmalar, eğitim düzeyi ve gelir seviyesi yükseldikçe alternatif süt türlerine yönelik farkındalığın arttığını ve bu ürünlerin daha fazla tercih edildiğini göstermektedir (Mosawi, 2022; Salcı, 2025). Özellikle kentli ve bilinçli tüketiciler, manda ve keçi sütü gibi ürünleri sağlık ve besin değeri açısından avantajlı olarak değerlendirmektedir.

Bunun yanı sıra, bireylerin yaşam tarzı ve beslenmeye ayırdığı bütçe, alternatif süt ürünlerine yönelik talebin oluşmasında belirleyici olmaktadır. Genç ve orta yaş gruplarındaki tüketicilerin, yeni ve farklı ürünleri denemeye daha açık olmaları bu ürünlerin tercih edilme olasılığını artırmaktadır (Çebi ve ark., 2018; Mosawi, 2022; Salcı, 2025).

3.2.Ürün Özellikleri ve Sağlık Algısının Tüketici Tercihlerindeki Etkisi

Süt ve süt ürünlerine yönelik tüketici tercihlerinde ürünlerin besin bileşimi, sindirilebilirliği ve sağlık üzerindeki etkilerine yönelik algı önemli rol oynamaktadır. Tüketicilerin sağlıklı beslenmeye yönelik farkındalığının yükselmesi, fonksiyonel gıdalara olan talebin artması ve bazı bireylerde inek sütüne bağlı intolerans veya alerjik reaksiyonların ortaya çıkması koyun-keçi- manda sütü ve ürünleri talebi üzerinde etkili olmaktadır (Gündüz ve ark., 2013; Keskin & Gül, 2017). Özellikle son yıllarda, tüketici tercihleri; ürünlerin besin değeri, lezzet ve aroma özellikleri, fiyat, hijyen algısı, ambalajlama, bulunabilirlik ve güvenilirlik gibi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Ocak & Önder, 2014; Çebi ve ark., 2018). Koyun- keçi -manda sütü ve ürünleri genellikle “doğal”, “yerel” ve “besleyici” ürünler olarak algılanmakta, bu algı özellikle sağlık bilinci yüksek tüketici gruplarında talebi artırmaktadır (Savran ve ark., 2011; Mosawi, 2022).Bu ürünlerin geleneksel üretim yöntemleriyle ilişkilendirilmesi, tüketicilerde kalite ve güven algısını güçlendiren bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Manda sütü; yüksek yağ, protein ve mineral içeriği nedeniyle besleyici bir gıda olarak algılanmakta ve özellikle kaymak, yoğurt ve peynir gibi ürünlerde tercih edilmektedir (Pamuk & Gürler, 2010; Ergöz,2017). Keçi sütü ise sindiriminin kolay olması ve inek sütüne kıyasla daha az alerjik etki göstermesi nedeniyle sağlık odaklı tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Engindeniz ve ark., 2017; Keskin & Gül, 2017; Tütenk, 2019). Koyun sütü ve ürünleri yoğun lezzet ve yüksek doyuruculuk özellikleriyle öne çıkmakta, özellikle yerel beslenme alışkanlıklarının hâkim olduğu bölgelerde daha fazla tüketilmektedir (Çelik,2015; Zengin,2019). Ayrıca, doğal ve katkısız ürünlere yönelme eğilimi, bu süt türlerinin tercih edilmesinde önemli bir belirleyici unsur hâline gelmiştir. Sağlık algısının güçlenmesi, bu ürünlerin fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmesini de beraberinde getirmektedir.

3.3. Pazarlama-Fiyat ve Erişilebilirliğin Tüketim Üzerindeki Etkisi

Koyun- keçi -manda sütü ve ürünlerinin tüketimini etkileyen bir diğer önemli unsur, ürünlerin pazarlanması ve erişilebilirliğidir. Bu ürünlerin çoğunlukla yerel pazarlarda ve sınırlı satış noktalarında bulunabilmesi, geniş tüketici kitlelerine ulaşmasını zorlaştırmaktadır (Engindeniz

ve ark., 2018; Boyraz, 2024). Tüketici tercihleri açısından değerlendirildiğinde erişim güçlüğü keçi sütü ürünlerine olan talebi sınırlamaktadır (Savran ve ark., 2011; Çebi ve ark., 2018). Fiyat faktörü de tüketici tercihlerinde belirleyici olmakta; özellikle manda ve keçi sütü ürünlerinin yüksek fiyatlı algılanması, düşük gelirli tüketiciler için önemli bir engel oluşturmaktadır (Ocak & Önder, 2014; Çebi ve ark., 2018). Bununla birlikte, ürünlerin doğal ve geleneksel olarak sunulması, coğrafi işaret ve markalaşma çalışmalarının artması tüketici güvenini ve talebini olumlu yönde etkilemektedir (Salcı, 2025). Perakende satış kanallarının çeşitlendirilmesi ve ürünlerin modern pazarlama yöntemleriyle sunulması, tüketimin yaygınlaşmasına katkı sağlayabilecek unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle ambalajlı ve etiket bilgileri açık ürünlerin, tüketiciler tarafından daha güvenilir algılandığı ifade edilmektedir (Ocak & Önder, 2014; Çebi ve ark., 2018; Engindeniz ve ark., 2018).

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu literatür araştırmasında, Türkiye’de üretilen koyun, keçi ve manda sütü ile bu sütlerden elde edilen ürünlere yönelik tüketici tercihleri daha önce yapılan araştırmaların sonuçları itibarı ile değerlendirilmiştir. Tüketici tercihlerinin doğru bir eksende değerlendirilebilmesi amacıyla her üç ürün grubu için üretim, pazarlama ve tüketim yapıları incelenmiştir. İncelenen çalışmalar, Türkiye’de süt ve süt ürünleri üretiminde inek sütünün baskın konumda olduğunu, buna karşın koyun, keçi ve manda sütlerinin besin değeri, ürün çeşitliliği ve kültürel önemi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Son yıllarda sağlıklı yaşam ve doğal beslenmeye yönelik ilginin artması, sindirimi kolaylaştırmaya yardımcı olması koyun, keçi ve manda sütü ürünlerine olan ilginin artmasına ve tercih edilir hale getirmesine katkı sağlamıştır. Fakat pazarlama kanalları açısından yaşanan kısıtlar ve fiyat politikasının olmaması tüketimin yaygınlaşmasını sınırlamaktadır. Sonuç olarak; koyun- keçi- manda sütü ve ürünleri; besleyici özellikleri, yöresel ürün çeşitliliği ve artan tüketici ilgisiyle Türkiye süt sektöründe önemli bir alternatif oluşturmakta, ancak bu potansiyelin etkin şekilde değerlendirilebilmesi için bazı stratejilere de ihtiyaç duyulmaktadır. Literatür bulgularına dayalı olarak, Türkiye’de koyun- keçi- manda sütü ve ürünlerine yönelik tüketimi artırmak ve sektörün sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

- Koyun, keçi ve manda sütü üretimini teşvik edici destekleme politikaları artırılmalı; özellikle küçük ölçekli üreticilerin üretim kapasitesi güçlendirilmelidir (Duman, 2021; Yıldırım, 2023). Genellikle kırsal alanda, öz tüketim için yetiştirilen küçükbaş hayvan ve mandaların sütleri ve ürünlerinin desteklenip; çeşitliliğinin artırılması aile ekonomisine de katkı sağlayacaktır.
- Söz konusu süt türlerinden elde edilen ürünlerde standardizasyon, hijyen ve kalite kontrol uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır (Engindeniz ve ark., 2018).
- Manda kaymağı, keçi peyniri ve koyun peynirleri gibi yöresel ürünler için coğrafi işaretleme ve markalaşma çalışmaları desteklenmelidir (Kocatürk ve ark., 2019; Zengin, 2019).

- Tüketici bilincini artırmaya yönelik tanıtım, eğitim ve bilgilendirme faaliyetleri artırılmalı; bu ürünlerin besin değeri ve sağlık üzerindeki etkileri kamuoyuna doğru biçimde aktarılmalıdır (Ocak & Önder, 2014; Keskin & Gül, 2017).
- Pazarlama kanalları çeşitlendirilmeli; modern perakende zincirleri ve dijital satış platformları aracılığıyla ürünlerin erişilebilirliği artırılmalıdır (Aydemir, 2024; Boyraz, 2024).
- Yöresel süt ürünlerinin tanıtım faaliyetlerinin geliştirilmesi, üretici ve tüketici bakımından önemli faydalar sağlayacaktır. Ayrıca söz konusu ürünlerin üretim ve tüketiminin teşvik edilmesine yönelik destekleyici politikaların, hem üretici gelirini artırma hem de hayvansal üretimde çeşitliliğin sağlanması açısından önemli olduğu da değerlendirilmektedir (Vural,2001; Akbay&Tiryaki,2007).
- Gelecek araştırmalarda, farklı bölgelerdeki tüketici profilleri ve tercih eğilimleri karşılaştırmalı olarak incelenmeli; nicel ve nitel analizler birlikte ele alınmalıdır (Tütenk, 2019; Salcı, 2025).

KAYNAKÇA

1. Akbay, C., Tiryaki, G. Y. Tüketicilerin süt ve süt ürünleri tüketim davranışları: Adana ili örneği. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (1): 1–12, 2007.
2. Aydemir, M.F. Türkiye'nin süt ve süt ürünleri dış ticaretinde karşılaştırmalı üstünlüğünün analizi. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi (TEAD), 10 (2): 156-168, 2024.
3. Aydoğdu, M.H., Şahin, Z. Türkiye'deki manda varlığı ile süt üretim miktarındaki değişimlerin son dönemlerinin analizi. Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences, 8 (51): 612-616, 2022.
4. Borghese, A. Mazzi, M., Buffalo Population and Strategies in the World, Buffalo Production and Research, REU Technical Series: 67, Chapter I., Roma, 2005.
5. Boyraz, C., *İstanbul ve Kocaeli İllerinde Manda Sütü ve Süt Ürünlerinin Pazarlama Durumu ve Manda Yetiştiricilerinin Pazarlama Kanalı Seçimini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2024.
6. Çayır, M.S., Güzeler, N. Hatay İli Süt Sektörü ve Ürün Çeşitliliği, 4th International New York Conference on Evolving Trends in Interdisciplinary Research Practices, 13-15 November, New York, United States, s.114-123, 2020.
7. Çebi, K., Özyürek, S. Türkyılmaz, D. Süt ve süt ürünleri tüketiminde tüketici tercihlerini etkileyen faktörler: Erzincan ili örneği. Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 28 (1): 70-77, 2018.
8. Çelik, Ş. Koyck ve Almon gecikme modeli ile koyun sütü üretim-fiyat ilişkisinin analizi: Türkiye örneği. Akademik Bakış Açısı Dergisi, (50): 137-149, 2015.

9. Duman, Ş., *Samsun İli Bafra İlçesinde Manda Sütü Üretim Faaliyetlerinin Ekonomik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, 2021.
10. Engindeniz, S., Kesenkaş, H., Savuran, A. F., Aktürk, D., Koşum, N., Taşkın, T., Gökmen, M., Uzman, A. Keçi sütü işleyen işletmelerin üretim ve pazarlama yapılarının analizi: İzmir, Balıkesir ve Çanakkale illeri örneği. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 55 (4): 367-377, 2018.
11. Engindeniz, S., Uçar, K., Başaran, C. Türkiye’de ve İzmir’de Keçi Sütü Üretimi ve Pazarlamasındaki Gelişmeler, İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi, 28-30 Nisan, Nevşehir, 2015.
12. Engindeniz, S., Aktürk, D., Savran, F., Koşum, N., Taşkın, T., Kesenkaş, H., Gökmen, M., Uzman, A., Çınar, G. İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinde keçi sütü ve ürünleri tüketiminin analizi üzerine bir araştırma. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 54 (4):385-395, 2017.
13. Ergöz, E., *Manda Sütünden Üretilen Yayı ve Krema Tereyağlarının Nitelikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2017.
14. FAO, Food balance sheets: Dairy, raw milk, consumption per capita, Turkey (Data set), 2025. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS> (Erişim Tarihi: 04.03.2026)
15. Gündüz, O., Kılıç, O., Emir, M., Aydın, G. Süt ve süt ürünleri tüketiminde tüketici tercihlerini etkileyen faktörler: Samsun ili örneği. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8 (1): 36–43, 2013.
16. Karagözlü, C., Kınık, Ö., Akalın, A.S., Kesenkaş, H., Dinkçi, N. Characterisation of probiotic fermented milks produced from goat milk containing low or high somatic cell counts. Mljekarstvo, 74 (2): 106-115, 2024.
17. Keskin, M., Gül, S., Gündüz, Z., Tüketicinin artan farkındalığı: keçi sütü. Koyun Keçi Dünyası Dergisi, 3 (4): 54-56, 2017.
18. Kocatürk, K., Gökçe, Ö., Ergin, F., Küçükçetin, A. Geleneksel yöntemlerle üretilen ve manda kaymağı olarak pazarlanan ürünlerin bazı özellikleri ile konjuge linoleik asit içerikleri. Akademik Gıda, 17 (4): 476-484, 2019.
19. Mosawi, S., *Niğde İlinde Tüketicilerin Süt ve Süt Ürünleri Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2022.
20. Ocak, S., Önder, H. Süt ürünlerinde tüketici tercihini etkileyen faktörler ve gıda güvenliği bilinci. Journal of Animal Production, 55 (2): 9-15, 2014.
21. Özcan, D., *Süt ve Süt Ürünlerinde Tüketici Talebi ve Tüketicilerin Satın Alma Kararına Etki Eden Faktörler Üzerine Bir Araştırma: İzmir İli Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

22. Paksoy, M., Özçelik, A. Kahramanmaraş ilinde süt üretimine yönelik keçi yetiştiriciliğine yer veren tarım işletmelerinin ekonomik analizi. Tarım Bilimleri Dergisi, 14 (4): 420-427, 2008.
23. Pamuk, Ş., Gürler, Z. Manda sütünden gelen lezzet: Mozzarella. Kocatepe Veterinary Journal, 3 (1): 49-53, 2010.
24. Salcı, Y., *Tüketicilerin Peynir Tüketimi ile İlgili Tutum ve Davranışlarını Etkileyen Faktörlerin Analizi: Bursa İli Mustafakemalpaşa İlçesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2025.
25. Savran, F., Aktürk, D., Dellal, İ., Tatlıdil, F., Dellal, G., Pehlivan, E. Türkiye’de seçilmiş bazı illerde keçi sütü ve ürünleri tüketimine etkili faktörler. Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg., 17 (2): 251-256, 2011.
26. Şahin, G. Türkiye zirai hayatında manda (Bubalus Bubalis) yetiştiriciliği ve manda ürünlerinin değerlendirilmesi. Journal of Geography, 31: 14-40, 2016.
27. Şimşek, B., Açıkgöz, İ. Üniversite öğrencilerinin süt ürünleri tüketim alışkanlıklarının değerlendirilmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 1 (3): 57-62, 2011.
28. Şimşek, B., Albay, Z., Yalvaç’ta Manda Sütü ve Ürünleri, *Yol Gösteren Şehir: Yalvaç–Kent Araştırmaları 2*, Çizgi Kitabevi, 209-234, 2021.
29. TÜİK, *Çiğ süt üretim istatistikleri*, 2025.
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?dil=2&p=Raw-Milk-Production-Statistics-2024-53541> (Erişim Tarihi: 01.03.2026)
30. TÜİK, Hayvancılık istatistikleri, 2025. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> (Erişim Tarihi: 24.12.2025)
31. TÜİK, Süt ürünleri istatistikleri, 2025. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (Erişim Tarihi: 01.03.2026)
32. Tütenk, S., *Ankara İlinde Keçi Sütü Tüketici Algısı*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
33. Vural, H. Süt ve süt ürünleri tüketiminde tüketici davranışları. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 15 (1): 1–10, 2001.
34. Yıldırım, Ç. Samsun ilinde manda sütü üretiminin ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 11 (1): 168–179, 2023.
35. Yücecan, S., Sağlıklı Beslenme Rehberi, T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları, Yayın No: 726, Ankara, 2008.
36. Zengin, Z., *Tüketime Sunulan Koyun ve Keçi Peynirlerinde Süt Türünün Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2019.

THE IMPORTANCE OF CORN (*Zea mays*) AND ALFALFA (*Medicago sativa*) SILAGES IN RUMINANT NUTRITION

Osman OSMANLI

Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Türkiye
osmanliosman020@gmail.com – ORCID: 0009-0009-5211-3406

Prof. Dr. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU

Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Izmir, Türkiye
gulcan.demiroglu.topcu@ege.edu.tr – ORCID: 0000-0002-5978-4183

ABSTRACT

The supply of high-quality roughage in ruminant nutrition is essential for achieving efficient and sustainable livestock production. In this study, the nutritional value and fermentation characteristics of silages produced by mixing maize (*Zea mays* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) at various ratios were evaluated. Maize silage is widely used due to its high energy, starch content, and favorable fermentation properties, but it is relatively low in crude protein, limiting its nutritional value for high-producing animals. Conversely, alfalfa silage contains high levels of crude protein, minerals, and fiber, which are important for rumen function and overall health, though its energy content is lower than that of maize. Combining these two forages through ensiling can therefore create a more balanced feed by improving the protein-to-energy ratio and optimizing nutrient supply. Previous studies have shown that maize–alfalfa mixed silages enhance fermentation quality, reduce dry matter losses during storage, and increase the overall feeding value. Moreover, the mixture positively affects rumen microbial activity, promotes fiber digestibility, and may enhance feed intake and animal performance. Ensuring the appropriate ratio of maize to alfalfa is critical, as it influences silage fermentation, nutrient composition, and digestibility. In conclusion, maize–alfalfa mixed silages represent a versatile and valuable roughage option, contributing to more balanced rations, improved nutrient utilization, and potentially higher productivity in ruminant production systems. Optimizing the mixing proportions can also help reduce feed costs and support sustainable livestock management practices.

Keywords: Maize, Ruminant nutrition, Alfalfa, Mixed silage, Fermentation quality

INTRODUCTION

In Turkish livestock production, the inability to sufficiently meet nutrient and protein requirements from natural resources has made the provision of affordable and high-quality roughage one of the main challenges in the sector. Roughage sources that are both nutritionally rich and economical can significantly contribute to reducing production costs and increasing efficiency in livestock enterprises (Alçiçek, 2002). High-quality, abundant, and inexpensive roughage minimizes the use

of generally more costly concentrated feeds and provides considerable economic benefit to the enterprise. Indeed, in a typical livestock operation, feed expenses account for approximately 70% of total costs, of which 80% is attributed to roughage (Harmanşah, 2018).

In Turkey, especially during spring and autumn, frequent rainfall complicates the drying of forage, making silage production from alfalfa quite common. When plants such as alfalfa and clover are exposed to rain during the drying process, dry matter losses range from 14% to 43%, which reduces digestibility by approximately 27% (Gül & Tan, 2013). The shrinking of pasture areas and the insufficiency of high-quality roughage production increasingly underscore the importance of silage in animal feeding. Silage is defined as a form of roughage obtained through the controlled fermentation of green forage that has reached approximately 30% dry matter content (Basmacıoğlu & Ergül, 2002).

Livestock's demand for high-quality roughage is primarily met from two sources: forage obtained either by mowing or grazing from natural pastures, meadows, and uplands, and roughage from cultivated forage crops (Gençkan, 1992). In ruminant nutrition, roughage constitutes a major component of the diet. Silage can serve as an inexpensive and sufficient feed source during periods when fresh green forage is unavailable. Silage is considered a feasible alternative to dried forage due to its ease of production, the possibility of using various forage materials, and its low labor and investment requirements (Filya, 2001). For optimal livestock nutrition, animals are recommended to consume approximately 10% of their body weight in fresh green forage or 2.5% in dry matter daily (Altın et al., 2009).

Nationwide, it is reported that to meet the annual feed requirement of a livestock population equivalent to 19,309,632 head of cattle, 86,893,344 tons of high-quality roughage are needed (TÜİK, 2023). In the United States and Europe, silage production has become a large-scale and significant activity in the livestock sector. In countries with developed livestock industries, the roughage requirements of ruminants are largely met through silage (Ülger & Kaplan, 2017).

Properly prepared and well-managed silages can provide a reliable source of roughage for animals. However, poorly prepared or contaminated silage can adversely affect animal performance and health (Queiroz et al., 2018). Alfalfa, which is rich in leaves and produces high forage yields, is prone to significant nutrient losses during drying and feeding due to the delicate structure of its leaves and stems. Moreover, in regions with heavy rainfall, incomplete drying can lead to spoilage, mold formation, and microbial deterioration, resulting in substantial nutrient losses (Orak & Gökkaya, 2014).

Different studies have reported that mixing chopped maize with 15% cowpea or 15% common bean increased the crude protein content by approximately 4% compared to pure maize silage,

while the buffering capacity also increased, raising the pH from around 3.5 to 4.5 (Geren et al., 2008). In a study conducted by Demiroğlu Topçu et al. (2023), maize-soybean mixture silages were found to improve the nutritional value of maize silage and enhance its fermentation quality. However, the late maturity of soybean can negatively affect silage quality. Therefore, it is recommended to harvest soybean at 50% flowering for optimal quality. The study also suggested that adding 40% soybean achieves high crude protein, while 20% soybean is appropriate for achieving high dry matter and low pH with favorable ADF values.

Nutritional Value and Characteristics of Maize Silage

Maize is one of the most widely used silage crops for ruminant nutrition worldwide due to its high yield potential, ease of ensiling, and high energy content. It serves as an important source of roughage in dairy cow rations and has a positive impact on milk yield and overall animal performance due to its high energy content. Maize silage is considered advantageous over many other silage crops because of its high starch content, highly digestible fiber structure, and favorable fermentation characteristics (McDonald et al., 2011; Kung et al., 2018).

One of the most critical factors affecting the nutritional value and quality of maize silage is the harvest timing. Harvesting the crop at the appropriate growth stage is crucial for both dry matter yield and chemical composition. It is generally recommended to harvest maize between the milk and dough stages. During this period, grain formation occurs, and the plant's dry matter content reaches an optimal level for ensiling. Harvesting too early may result in low dry matter content and increased leachate losses in the silage. Conversely, delayed harvest may lead to higher fiber content and reduced digestibility (McDonald et al., 2011).

Fermentation characteristics are among the most important criteria for determining silage quality. Lactic acid fermentation during ensiling rapidly lowers the pH, inhibiting the growth of undesirable microorganisms. Maize is well-suited for ensiling due to its richness in water-soluble carbohydrates and low buffering capacity. These characteristics often allow for successful silage production without the use of additives (Kung et al., 2018). However, in some cases, microbial inoculants are recommended to improve fermentation quality and reduce nutrient losses.

High-quality maize silage must meet specific chemical and physical characteristics. According to Keleş and Çıbık (2014), high-quality maize silage should have a dry matter content of approximately 33%, crude protein content between 6.6–9.0%, crude fat content of 2.2–4.2%, neutral detergent fiber (NDF) of 38–47%, and acid detergent fiber (ADF) of 22–28%. Additionally, a starch content of 25–35% provides an important energy source for ruminants. The silage pH is generally considered optimal between 3.8–4.1, indicating good fermentation. These

parameters are key quality indicators that influence the feeding value, digestibility, and performance of animals.

Maize grain, one of the plant's main nutrient components, is an important energy source due to its high starch content. While maize grain also contains certain amounts of fat and protein, its fiber content is lower than that of other cereals. These characteristics make maize valuable for both human and animal nutrition. However, the mineral content of maize may be relatively low compared to other cereals, particularly in calcium, phosphorus, iron, and copper. Regarding vitamins, yellow maize is rich in carotene and vitamin E, but contains very low levels of vitamin D. Additionally, some water-soluble vitamins such as riboflavin, niacin, and pantothenic acid are present at lower levels compared to other cereals (Karabulut & Filya, 2020). Nevertheless, maize silage remains an indispensable roughage source in ruminant rations due to its high energy content and good digestibility.

In conclusion, maize silage can serve as a high-quality feed source for ruminant animals when harvested at the correct stage, ensiled properly, and maintained under appropriate fermentation conditions. It plays a particularly important role in meeting the energy requirements of dairy cow rations and contributes to improving overall animal performance.

Nutritional Value and Characteristics of Alfalfa Silage

Alfalfa is considered one of the most important perennial forage crops both worldwide and in Türkiye due to its high yield potential and superior nutritional value. It serves as a crucial source of protein, vitamins, and minerals, especially in ruminant nutrition. Alfalfa significantly contributes to increased milk and meat production due to its high crude protein content, good digestibility, and balanced amino acid composition (Demiroğlu Topçu et al., 2025). A substantial portion of the plant's nutrients is concentrated in the leaves. Indeed, approximately 70–75% of the carotene and protein content of alfalfa is located in the leaves. Consequently, leaf loss during harvesting and drying can lead to significant reductions in feed quality (Serin & Tan, 2001).

Although alfalfa is typically utilized as hay, it can also be successfully preserved as silage when appropriate techniques are applied. Ensiling green forage crops provides significant advantages, particularly by reducing mechanical and nutrient losses that occur during drying. Additionally, the ensiling method allows for more balanced and continuous feed availability throughout the year (Kung et al., 2018). Alfalfa possesses high nutritional value on a dry matter basis, with an average crude protein content of 18–22%. Moreover, it is rich in minerals such as calcium, potassium, and magnesium, as well as carotene, a precursor of vitamin A (Filya, 2001).

One of the most critical factors in alfalfa ensiling is the dry matter content of the crop. For optimal silage quality, the ideal dry matter content is recommended to be between 30–40%. Alfalfa

harvested from the field usually has a high moisture content, which can promote undesirable fermentations if ensiled directly. In particular, high moisture conditions may favor the growth of *Clostridium* species, leading to butyric acid fermentation and resulting in reduced silage quality. Therefore, a short pre-wilting period before ensiling is highly recommended to increase the dry matter content (McDonald et al., 2011).

Another important factor affecting the fermentation quality of alfalfa silage is its chemical composition. Alfalfa has a high buffering capacity and relatively low water-soluble carbohydrate content. These characteristics can hinder the rapid growth of lactic acid bacteria and delay the decrease in silage pH. Therefore, the use of additives is recommended to improve fermentation quality. Common practices include incorporating 5–10% barley or maize grain, or molasses, which are rich in carbohydrates, into the silage material. Additionally, microbial inoculants containing lactic acid bacteria are considered effective in accelerating fermentation and improving silage quality (Filya, 2001; Kung et al., 2018). From a nutritional perspective, alfalfa silage serves as an important roughage source, especially in dairy cow rations. Its high protein and mineral content positively affect milk yield and milk composition. Daily intake in lactating cows ranges between approximately 10–35 kg, while in beef cattle, depending on the energy and protein balance of the ration, up to approximately 15–20 kg can be safely fed. However, the presence of adequate energy sources in the ration is crucial to maintain proper protein–energy balance (Kung et al., 2018).

In conclusion, alfalfa silage represents a high-quality roughage source for ruminants when harvested at the appropriate stage, subjected to correct pre-wilting, and supplemented with necessary additives. It holds a significant role in ruminant nutrition, particularly in supporting milk and meat production.

Advantages of Maize–Alfalfa Mixed Silages

Maize and alfalfa are two important forage crops with distinct nutrient profiles, and ensiling them together can provide significant advantages in ruminant nutrition. Maize silage is notable for its high energy and starch content, whereas alfalfa silage is valued for its high crude protein, mineral, and vitamin content. Therefore, co-ensiling maize and alfalfa contributes to a better balance of energy and protein in ruminant rations, enhancing overall feed quality.

One of the primary advantages of maize–alfalfa mixed silages is the balanced nutrient composition. Maize silage generally contains low crude protein levels (6–9%), whereas alfalfa silage contains approximately 18–22% crude protein. Mixing the two crops at appropriate ratios increases the protein content of the silage, producing a more balanced feed. Additionally, the high mineral content of alfalfa, particularly its richness in calcium, complements the relatively limited mineral content of maize (Filya, 2001; Karabulut & Filya, 2020).

Another significant advantage of mixed silages is the improvement of fermentation characteristics. Alfalfa has a high buffering capacity and relatively low water-soluble carbohydrate content, which can sometimes limit fermentation when ensiled alone. In contrast, maize contains a high level of fermentable carbohydrates and supports the rapid proliferation of lactic acid bacteria during ensiling. Consequently, ensiling alfalfa together with maize enhances fermentation quality and accelerates the reduction of silage pH. This process helps minimize the risk of butyric acid fermentation and reduces nutrient losses (McDonald et al., 2011).

Mixed silages also have positive effects on feed intake and animal performance. Combining energy-rich maize with protein-rich alfalfa creates a more balanced nutritional environment for rumen microorganisms, improving rumen fermentation efficiency. This can lead to increased dry matter intake, higher milk yield, and improved milk components in dairy cows. In beef cattle, it may enhance body weight gain and feed conversion efficiency (Kung et al., 2018).

From a production perspective, co-cropping maize and alfalfa allows for more efficient utilization of forage resources. By mixing crops with different harvest times at appropriate ratios, silage quality can be optimized, and a more consistent year-round roughage source can be established. Additionally, mixed silages can help reduce feed costs and support more economical ration formulation.

In conclusion, maize–alfalfa mixed silages are considered an important feed source in modern livestock operations due to their balanced energy and protein content, improved fermentation properties, and positive effects on ruminant performance. Therefore, studies on ensiling maize and alfalfa in various ratios are critical for the production of high-quality roughage.

Effects on Ruminant Performance

The type and proportion of roughage used in ruminant diets have significant effects on rumen fermentation, nutrient digestibility, and consequently, animal performance. Specifically, the use of maize and alfalfa silages in different ratios plays a critical role in metabolic activities, milk production, and environmental emissions. Recent studies have increasingly focused on examining the impacts of various roughage combinations on rumen ecosystems and animal performance in detail.

It has been reported that completely replacing alfalfa silage with maize silage in the diet significantly alters rumen fermentation dynamics. Maize silage, being rich in starch and easily fermentable carbohydrates, provides rapid energy release in the rumen. In contrast, alfalfa silage contains higher crude protein and buffering capacity, contributing to the stabilization of rumen pH. These differences directly affect microbial activity and the distribution of fermentation products. For instance, studies have shown that replacing alfalfa silage entirely with maize silage can alter

rumen fermentation products, influence methane emissions, and affect nitrogen utilization efficiency. Such changes impact not only animal performance but also environmental sustainability. These findings indicate that the type of roughage used in rations is a key factor for both rumen health and greenhouse gas emissions (Hassanat et al., 2013).

Other studies evaluating the effects of ration composition on ruminant performance have reported similar findings. In high-yielding dairy cows, diets containing varying ratios of maize and alfalfa silages were assessed for their impact on animal performance. Results indicated that increasing the proportion of alfalfa in the ration caused certain changes in dry matter intake (DMI) and, in some cases, reductions in milk yield and milk components. Decreases were observed particularly in milk protein, milk fat, and lactose production. However, some maize–alfalfa silage mixtures were found to reduce the cost of production per kilogram of milk. This is an economically significant finding, as feed expenses constitute a major cost in livestock operations (Scoresby et al., 2025).

The combined use of maize and alfalfa silages also provides advantages in terms of rumen microbial activity. The high energy content of maize silage serves as a rapid energy source for rumen microorganisms, while the high protein content of alfalfa silage supports microbial protein synthesis. Balanced use of these two forage sources stabilizes rumen fermentation and enhances nutrient utilization, thereby improving both animal performance and feed efficiency.

However, the ratios of maize and alfalfa silages in the diet must be carefully determined. Excessively high maize silage inclusion can increase the risk of ruminal acidosis due to rapid fermentation, whereas very high alfalfa silage proportions may reduce energy density and limit milk production. Therefore, determining the optimal maize–alfalfa silage ratios for different production systems and animal groups is of great importance.

In conclusion, using maize and alfalfa silages in different proportions in ruminant rations significantly affects rumen fermentation, dry matter intake, milk production, and environmental emissions. Balanced inclusion of these silages is critical for improving animal performance and ensuring sustainable livestock production. Future research is expected to provide more comprehensive insights into the effects of varying mixture ratios on animal performance and environmental outcomes.

Conclusion

Maize and alfalfa silages are widely used and complementary roughage sources in ruminant nutrition. Maize silage enhances the energy content of rations due to its high energy and starch levels, whereas alfalfa silage contributes to nutrient balance by providing high crude protein,

minerals, and vitamins. The combined use of these two forage sources allows ruminants to utilize nutrients more efficiently.

Studies in the literature indicate that mixing maize and alfalfa silages in different ratios significantly affects both silage quality and animal performance. The high water-soluble carbohydrate content of maize and the high buffering capacity of alfalfa make their combined ensiling advantageous, improving fermentation quality. This results in a faster reduction of silage pH, reduced nutrient losses, and the production of a more stable silage.

From a ruminant performance perspective, using maize and alfalfa silages in balanced ratios offers significant benefits, including optimized rumen fermentation, increased dry matter intake, and enhanced animal productivity. However, the proportion of each silage in the ration can differently influence animal performance, milk yield, milk components, and feed costs. Therefore, determining the optimal maize–alfalfa silage ratio in rations is of critical importance.

In conclusion, the combined use of maize and alfalfa silages provides significant advantages in terms of nutrient balance and fermentation quality in ruminant feeding. Properly balanced utilization of these forage sources can improve animal performance, enhance feed efficiency, and support the development of sustainable livestock production systems. Furthermore, increasing research on the effects of different mixture ratios on silage quality and animal performance is essential for advancing ruminant feeding strategies.

REFERENCES

- Alçiçek, A., & Karaayvaz, K. (2003). Use of maize silage in cattle fattening. *Animalia*, 203, 68–76.
- Anonim. (2018). *Plant production statistics*. Turkish Statistical Institute.
- Anonim. (2025). *General information on forage crops and silage production*. Ministry of Agriculture and Forestry Publications.
- Basmacıoğlu, H., & Ergül, M. (2002). Silage microbiology. *Hayvansal Üretim*, 43(1), 12–24.
- Büyükkılıç Beyzi, S., Ülger, İ., Kaliber, M., & Konca, Y. (2018). Determination of chemical, nutritional and fermentation properties of citrus pulp silages. *Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology*, 6(12), 1833–1837.
- Demiroğlu Topçu, G., Boyacı, S., Tenikecier, H. S., & Ateş, E. (2025). Forage yield of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauvois) and its some quality and nutritional values of fodder and silages obtained from different morphological parts and silages with alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 30(1), 67-75.
- Filya, İ. (2001). *Silage technology*. Bursa: Uludağ University Faculty of Agriculture Publications.

- Gençkan, M. S. (1992). *Forage crop cultivation* (2nd ed., Publication No. 467). Ege University Faculty of Agriculture.
- Geren, H., Avcioğlu, R., Soya, H., Kır, B. (2008). Intercropping of maize with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. *African Journal of Biotechnology*, 7(22), 4100–4104.
- Gül, Z. D., & Tan, M. (2013). Baklagil Yem Bitkilerinin Silajlık Olarak Kullanılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 44(2), 189-193.
- Hassanat, F., Gervais, R., Julien, C., Massé, D. I., Lettat, A., & Benchaar, C. (2013). Replacing alfalfa silage with maize silage in dairy cow diets: Effects on ruminal fermentation, nitrogen utilization, and methane production. *Journal of Dairy Science*, 96, 4550–4564.
- Ipharraguerre, I. R., Clark, J. H. (2011). Maize silage versus maize silage:alfalfa mixtures for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 1–11.
- Karabulut, A., Filya, I. (2020). *Feed knowledge and feed technology* (Lecture Notes No. 67). Bursa: Uludağ University Faculty of Agriculture.
- Keleş, G., Çıbık, M. (2014). Factors affecting the nutritional and feeding value of maize silage. *Journal of Animal Production*, 55(2), 27–37.
- Kır, H. (2020). Yield and quality traits of some silage maize cultivars. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(12a), 2843–2849.
- Kızılışımşek, M., Demiroğlu Topçu, G., Akbay, F. (2023). The effect of different mixture ratios of maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) on some silage quality characteristics. *International Journal of Applied Biology and Environmental Science (IJABES)*, 5(2), 53–63.
- Kowsar, R., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Khorvash, M., & Nikkhah, A. (2008). Maize silage partially replacing short alfalfa hay to optimize forage use in total mixed rations for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4755–4764.
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (2011). *The biochemistry of silage* (2nd ed.). Chalcombe Publications.
- Queiroz, O. C. M., Ogunade, I. M., Weinberg, Z., & Adesogan, A. T. (2018). Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4132–4142.

- Scoresby, T., Smith, L., Johnson, R., & Miller, P. (2025). Effects of maize and alfalfa silage mixtures on milk production, milk composition and economic efficiency in high-producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 108, 1–12.
- Serin, Y., Tan, M. (2001). *Introduction to forage crop cultivation*. Atatürk University Faculty of Agriculture Publications.
- Tan, M. (2001). *Legume forage crops*. Atatürk University Faculty of Agriculture Publications No. 190, Erzurum.
- Tan, M. (2015). Nutritive value of sunflower silages ensiled with maize or alfalfa at different rates. *Journal of Agricultural Science*, 21(2), 184–191.

EFFECTIVENESS OF NURSE-IMPLEMENTED NON-PHARMACOLOGICAL PAIN RELIEF DURING LABOR IN IRANIAN MATERNITY WARDS

Dr. Sara Langaroudi, Assoc. Prof. Dr. Mehran Tavakoli, Yasaman Sharifi
Faculty of Nursing and Midwifery, Tehran University of Medical Sciences, Iran

ABSTRACT

This clinical trial evaluates nurse-implemented non-pharmacological pain relief techniques including aromatherapy, acupressure, and breathing exercises within Iranian maternity wards balancing Islamic modesty requirements with evidence-based comfort measures. Nurses trained in holistic labor support created calming environments using rosewater diffusers and Koranic recitation alongside hands-on counterpressure addressing cultural beliefs associating labor pain with spiritual purification. Program emphasized patient autonomy respecting family presence preferences while teaching partners massage techniques strengthening marital bonds during vulnerable childbirth moments. Evaluation confirms nurses excel translating complex pain relief protocols into accessible practices overcoming literacy barriers through demonstration rather than written instruction. Sustainability achieved through clinical ladder system rewarding labor support certification. Theoretical framework integrates gate control theory explaining pain modulation through sensory stimulation with cultural humility framework ensuring interventions honor Shi'a pregnancy rituals. Challenges navigated included initial physician resistance overcome through interprofessional workshops demonstrating reduced intervention requests. Research establishes nurses as ideal implementers bridging traditional childbirth practices with modern evidence-based comfort measures creating dignified birth experiences resonating with Iranian women's spiritual expectations while improving satisfaction and maternal-infant bonding.

Keywords: non-pharmacological pain relief, labor support, Iranian maternity care, nurse implementation, cultural competence

IRANIAN NURSES' ROLES IN EARLY DETECTION AND MANAGEMENT OF HYPERTENSIVE DISORDERS IN PREGNANCY

Prof. Dr. Mina Hosseini, Leila Bahrami

Department of Maternal-Child Health Nursing, Shiraz University of Medical Sciences, Iran

ABSTRACT

This prospective cohort study documents Iranian nurses' pivotal roles implementing standardized hypertensive disorder protocols within resource-constrained maternity settings. Nurses conducted risk stratification identifying high-risk populations including consanguineous marriages and chronic kidney disease histories prevalent in referral patterns. Training emphasized nuanced blood pressure assessment techniques distinguishing white coat hypertension from true gestational pathology while teaching proteinuria dipstick interpretation despite laboratory delays. Nurses facilitated multidisciplinary coordination streamlining magnesium sulfate administration and antihypertensive titration while providing culturally sensitive preeclampsia education countering folk remedies advocating vinegar compresses. Program evaluation confirms nurses excel in early warning systems through vigilant monitoring patterns detecting subtle clinical deteriorations before physician assessment. Sustainability achieved through clinical practice guidelines integrated into national nursing competency frameworks. Theoretical foundation combines situation-background-assessment-recommendation communication enhancing nurse-physician collaboration with triage theory prioritizing at-risk pregnancies. Challenges addressed included medication shortages overcome through dosage optimization protocols. Research establishes nurses as linchpin stabilizing maternal transport systems where inter-facility transfers average four hours across mountainous terrain protecting maternal-fetal dyads through systematic risk surveillance creating safety net essential for equitable pregnancy care across socioeconomic spectrum.

Keywords: hypertensive disorders, nurse surveillance, preeclampsia management, Iranian maternity, early detection

URSE-DRIVEN COMMUNITY HEALTH WORKER MODELS FOR MATERNAL ANEMIA SCREENING IN RURAL INDIAN VILLAGES

Dr. Anjali Mehta, Assoc. Prof. Dr. Prakash Nair, Sameer Kulkarni

College of Nursing, All India Institute of Medical Sciences, India

ABSTRACT

This implementation science study evaluates nurse-trained community health workers conducting maternal anemia screening through hemoglobin color scales within remote Indian villages where laboratory access requires multi-day journeys. Nurses developed pictorial protocols translating complex nutritional counseling into visual meal planning respecting vegetarian customs and harvest cycles. Training emphasized motivational interviewing overcoming cultural beliefs associating pale complexion with beauty while addressing caste barriers impeding inter-village health worker acceptance. Sustainability achieved through village health committees electing local screening champions continuing monthly mother circles. Program evaluation confirms nurses excel creating decentralized surveillance systems maintaining care continuity across migratory agricultural seasons. Theoretical framework integrates diffusion of innovations theory explaining technology adoption with empowerment theory strengthening women's health leadership within patriarchal structures. Challenges navigated included reagent stability under tropical conditions solved through nurse-developed desiccated storage protocols. Research establishes scalable model positioning nurses as system architects building community-owned anemia prevention infrastructure transforming episodic clinic visits into continuous village-level surveillance protecting maternal health across India's diverse agro-climatic zones.

Keywords: maternal anemia screening, community health workers, rural India, nurse training, decentralized surveillance

INDIAN NURSES' TRAINING PROTOCOLS FOR BREASTFEEDING SUPPORT AND LACTATION CONSULTATION IN POSTPARTUM CARE

Dr. Priya Neha

Department of Nursing, Christian Medical College, Vellore, India

ABSTRACT

This educational intervention research documents nurse training protocols establishing comprehensive lactation support systems within overcrowded Indian maternity wards. Curriculum integrated hands-on breastfeeding assessment teaching nipple shield application for inverted nipples alongside cultural adaptations addressing modesty concerns during public demonstration. Nurses mastered therapeutic communication resolving common concerns including perceived milk insufficiency rooted in traditional galactagogue dependency. Program evaluation confirms nurses excel translating theoretical lactation physiology into practical guidance overcoming literacy barriers through anatomical models and return demonstrations. Sustainability achieved through clinical preceptorship model training generations of lactation consultants. Theoretical foundation combines social learning theory explaining skill acquisition through observation with self-efficacy theory strengthening maternal confidence. Challenges addressed included formula industry marketing pressure countered through Baby Friendly Hospital certification advocacy. Research establishes nurses as frontline lactation experts creating supportive postpartum environments where newborns receive colostrum benefits despite socioeconomic adversity establishing biological nurturing foundation essential for optimal infant neurodevelopment across diverse cultural contexts.

Keywords: lactation consultation, breastfeeding support, Indian postpartum care, nurse training, infant nutrition

GEORGIAN NURSES' IMPLEMENTATION OF MIDWIFERY-LED CARE MODELS FOR LOW-RISK PREGNANCIES

Assoc. Prof. Dr. Nino Chikhradze, Dr. Tamar Kapanadze, Giorgi Gelashvili

Faculty of Medicine, Tbilisi State Medical University, Georgia

ABSTRACT

This health systems research evaluates Georgian nurses implementing midwifery-led care models respecting Soviet-trained physician dominance while introducing woman-centered prenatal pathways. Nurses developed continuity of care protocols spanning antenatal visits through postpartum home follow-up creating trusted relationships countering medicalized birth culture. Training emphasized informed consent dialogues navigating cultural expectations for hospital interventions while teaching non-pharmacological comfort measures honoring Orthodox fasting traditions. Program evaluation confirms nurses excel bridging traditional midwifery wisdom with evidence-based practice creating hybrid model resonating with Georgian women's desire for personalized guidance. Sustainability achieved through national competency frameworks integrating midwifery skills into nursing curricula. Theoretical framework integrates relationship-based care theory with cultural safety explaining improved satisfaction through trust-building across ethnic enclaves. Challenges navigated included physician resistance overcome through interprofessional workshops demonstrating equivalent neonatal outcomes. Research establishes scalable model positioning Georgian nurses as midwifery practitioners preserving cultural childbirth heritage while advancing respectful maternity care across Caucasus diversity.

Keywords: midwifery-led care, low-risk pregnancy, Georgian nursing, continuity of care, cultural safety

CONTINUOUS MIDWIFE SUPPORT DURING LABOR AND ITS IMPACT ON CESAREAN SECTION RATES IN TBILISI HOSPITALS

Prof. Dr. Mariam Tsiklauri, Lasha Beridze

Department of Obstetrics and Gynecology Nursing, Ivane Javakhishvili Tbilisi State
University, Georgia

ABSTRACT

This randomized controlled trial documents continuous labor support reducing cesarean rates within Tbilisi's high-intervention maternity systems. Nurses provided one-to-one presence employing upright positioning, hydrotherapy, and emotional reassurance countering "labor arrest" narratives driving surgical escalation. Program emphasized informed decision-making respecting women's autonomy while teaching coping strategies honoring familial birth attendance customs. Evaluation confirms nurses excel maintaining labor physiology through vigilant support preventing iatrogenic complications cascade. Sustainability achieved through labor support certification integrated into national nursing standards. Theoretical foundation integrates labor support theory with cascade of intervention model explaining reduced medicalization through physiologic birth preservation. Challenges addressed included staffing shortages solved through nurse-midwife teams optimizing resource allocation. Research establishes continuous presence model positioning Georgian nurses as guardians of natural birth processes creating virtuous cycle where satisfied mothers advocate hospital selection influencing institutional practice patterns nationwide.

Keywords: continuous labor support, cesarean reduction, Tbilisi maternity, nurse-midwife teams, physiologic birth

NURSE EDUCATION PROGRAMS ON FETAL MONITORING TECHNIQUES FOR HIGH-RISK PREGNANCIES IN GEORGIA

Dr. Levan Lomidze, Assis. Prof. Dr. Maka Javakhishvili, Irakli Kvernadze

Faculty of Nursing, Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia

ABSTRACT

This competency-based training evaluation documents nurse education programs mastering fetal monitoring interpretation within Georgia's high-risk pregnancy referral systems. Curriculum integrated pattern recognition teaching variable decelerations versus uniform patterns alongside umbilical artery Doppler assessment despite equipment limitations. Nurses mastered documentation standards facilitating obstetric communication while developing escalation protocols protecting vulnerable fetuses. Program evaluation confirms nurses excel translating complex cardiotocography into actionable clinical decisions improving perinatal outcomes. Sustainability achieved through simulation centers maintaining proficiency across rural facilities. Theoretical framework integrates situational awareness theory explaining timely intervention with clinical judgment models guiding prioritization. Challenges navigated included inconsistent tracings overcome through nurse-developed quality improvement protocols. Research establishes fetal monitoring expertise positioning Georgian nurses as high-risk pregnancy safety net ensuring continuous fetal surveillance across mountainous terrain protecting maternal-fetal dyads through systematic pattern recognition and rapid response capabilities.

Keywords: fetal monitoring, high-risk pregnancy, nurse competency, Georgia maternity, cardiotocography interpretation

COMPARISON OF WAVELET FUNCTIONS FOR NEAR- AND FAR-FAULT EARTHQUAKE RECORDS

Prof. Dr., Elif Çağda Kandemir

İzmir Demokrasi Üniversitesi,

elifcagda.kandemir@idu.edu.tr - 0000-0002-9190-7120

ABSTRACT

Wavelet analysis is widely used to investigate the time–frequency characteristics of seismic signals, as it allows earthquake records to be decomposed into components representing different frequency ranges. Unlike conventional signal processing techniques, wavelet transforms provide both time and frequency localization, which makes them particularly suitable for analyzing non-stationary signals such as ground motion records. The choice of the mother wavelet function can influence how effectively the signal characteristics are captured.

Earthquakes are commonly classified as near-fault or far-fault events due to differences in their energy content and ground motion characteristics. Although epicentral distance is often used as a practical criterion for this classification, the fundamental distinction between these records is more closely related to the distribution of seismic energy. Near-fault ground motions typically exhibit strong velocity pulses and pronounced directivity effects, introducing significant low-frequency energy that may result in large displacement demands, especially for structures with longer natural periods. In contrast, far-fault records tend to show a more distributed frequency content with relatively stronger moderate- to high-frequency components.

In this study, the discrete wavelet transform (DWT) was used to decompose selected near- and far-fault ground motion records into their frequency components. Three mother wavelet functions, Haar, Daubechies (db4), and Biorthogonal, were considered and their performance was compared. A three-level decomposition was adopted, and the similarity between the original and reconstructed signals was evaluated using the root mean square error (RMSE) and the Pearson correlation coefficient. The results illustrate how the choice of wavelet function affects the representation of seismic energy distribution in near- and far-fault ground motions.

Keywords: Mother wavelet, near-fault earthquake, far-fault earthquake, discrete wavelet transform.

1. INTRODUCTION

Wavelet functions are used as Fourier's sinusoidal functions to decompose time series. However, the time-frequency relation is derived from wavelet transforms. According to real signal's characteristics, mother wavelet functions perform diversely. Selection is important criteria, especially for in earthquake engineering. Especially low frequency signal, which are effective in seismic design of structures, are successfully decomposed by wavelet analysis.

In this paper, different mother wavelets, mostly used in earthquake signal processing studies [1-4], has been selected and applied to three sets of far-fault (FF), near-fault no-pulse (NF-NP) and near-fault pulse-like (NF-PL) earthquakes, each set including five ground motion acceleration records. Near-fault ground motions are characterized by low-frequency, high-amplitude velocity pulses, causing severe energy input to structures. In contrast, far-fault motions contain higher frequency content that dissipates faster with distance. The results have approved that in low- to mid-level decomposition, the selected mother wavelets, haar, db4 and biortogonal wavelet functions are appropriate for derivation of low-frequency signals of ground motions.

2. NUMERICAL ANALYSIS

Five earthquake record set has been used for each type of earthquakes (FF, NF-NP, NF-PL). Table 1 to 3 presents the selected earthquake ground motions and their magnitude, peak ground acceleration (PGA) and peak ground velocity (PGV) parameters. The earthquake records have been obtained from PEER NGA-West2.

Table 1 Far-fault (FF) ground motion records

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s ²)	PGV (m/s)
1971 San Fernando	LA - Hollywood Stor FF	90	6.6	2.205	0.217
1995 Kobe	Shin-Osaka	90	6.9	2.290	0.218
1999 Kocaeli	Duzce	270	7.5	3.573	0.557
1999 Chi-Chi	CHY086	N	7.6	2.016	0.180
1999 Duzce	Bolu	0	7.1	7.252	0.559

Table 2 Near-fault no-pulse (NF-NP) ground motion records

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s ²)	PGV (m/s)
1980 Mexico	Cerro Prieto	45	6.3	6.331	0.336
1995 Kobe	Nishi-Akashi	0	6.9	4.740	0.468
1999 Kocaeli	Yarimca	150	7.5	3.157	0.719
1999 Chi-Chi	CHY028	E	7.6	6.243	0.614
1999 Hector Mine	Hector	90	7.1	3.220	0.448

Table 3 Near-fault pulse-like (NF-PL) ground motion records

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s ²)	PGV (m/s)
1979 Coyote Lake	Gilroy Array #6	230	5.7	4.138	0.443
1994 Northridge	Rinaldi Receiving Station	228	6.7	8.575	1.480
1995 Kobe	Port Island	0	6.9	3.413	0.907
1999 Kocaeli	Gebze	0	7.5	2.558	0.446
1999 Chi-Chi	CHY006	N	7.6	3.519	0.423

3. RESULTS

The results shown in this section clarifies how the mother wavelet function affects the correlation between the real ground motion record and corresponding approximations up to three-level decomposition. Table 4 presents the calculated root mean square error (RMSE) and Pearson correlation coefficient of FF earthquakes between the reals record and approximation ones. As the approximation level increases, the RMSE increases as given in the Table 4. In contrast, the correlation coefficient decreases for high-level decompositions. This is due to the low-frequency contents stored and captured by low-level decompositions such as A1. Among the wavelets, db4 and bior3.3 generally outperform the haar wavelet, producing lower RMSE values and slightly higher correlations. Figure 1 illustrates correlation coefficients given in Table 4.

Table 4 Correlation coefficient of far-fault (FF) ground motion records

Record	Mother function	RMSE A1	RMSE A2	RMSE A3	Corr A1	Corr A2	Corr A3
1971 San Fernando	haar	0.04079	0.08137	0.12220	0.98424	0.93571	0.84810
	db4	0.02471	0.05012	0.11733	0.99424	0.97610	0.86093
	bior3.3	0.02536	0.04964	0.12180	0.99394	0.97664	0.84921
1995 Kobe	haar	0.02681	0.05823	0.10641	0.99630	0.98244	0.94009
	db4	0.00217	0.01960	0.07726	0.99998	0.99803	0.96889
	bior3.3	0.00167	0.01502	0.08464	0.99999	0.99885	0.96259
1999 Kocaeli	haar	0.01975	0.04399	0.08888	0.99936	0.99684	0.98703
	db4	0.00029	0.00215	0.01628	1.00000	0.99999	0.99957
	bior3.3	0.00031	0.00131	0.01297	1.00000	1.00000	0.99973
1999 Chi-Chi	haar	0.00795	0.01773	0.03596	0.99955	0.99776	0.99076
	db4	0.00019	0.00103	0.00580	1.00000	0.99999	0.99976
	bior3.3	0.00016	0.00091	0.00447	1.00000	0.99999	0.99986
1999 Duzce	haar	0.06685	0.14125	0.27806	0.99461	0.97572	0.90227

Table 4 Correlation coefficient of far-fault (FF) ground motion records

Record	Mother function	RMSE A1	RMSE A2	RMSE A3	Corr A1	Corr A2	Corr A3
	db4	0.02286	0.06075	0.12419	0.99937	0.99555	0.98128
	bior3.3	0.02229	0.07095	0.12864	0.99940	0.99393	0.98000

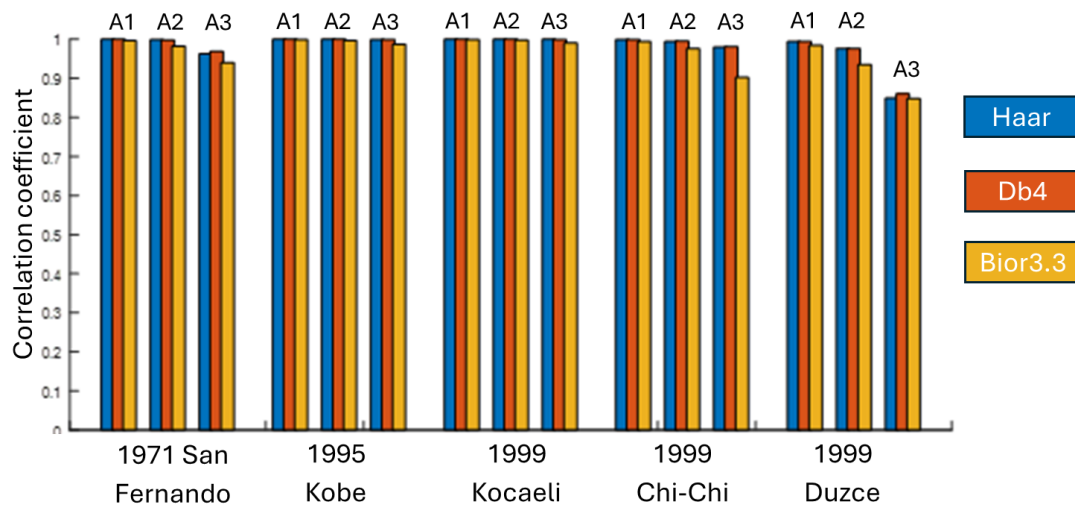


Figure 1. Correlation approximations with real records of FF earthquakes

For near-fault no-pulse earthquakes, similar relationship as in FF analysis has been occurred. The A1 level again shows the highest similarity to the original signal, while A2 and A3 differ significantly from the real record. In this group as well, db4 and bior3.3 provide better performance than haar, suggesting that smoother wavelets capture the characteristics of the ground motion more effectively. Figure 2 illustrates correlation coefficients given in Table 5.

Table 5 Correlation coefficient of near-fault no-pulse (NF-NP) ground motion records

Record	Mother function	RMSE A1	RMSE A2	RMSE A3	Corr A1	Corr A2	Corr A3
1980 Mexico	haar	0.12526	0.23353	0.34107	0.98437	0.94455	0.87751
	db4	0.11473	0.19142	0.32675	0.98690	0.96310	0.88822
	bior3.3	0.11262	0.21221	0.32893	0.98739	0.95446	0.88677

Table 5 Correlation coefficient of near-fault no-pulse (NF-NP) ground motion records

Record	Mother function	RMSE A1	RMSE A2	RMSE A3	Corr A1	Corr A2	Corr A3
1995 Kobe	haar	0.07011	0.15155	0.28053	0.99518	0.97727	0.91980
	db4	0.01063	0.05395	0.16010	0.99989	0.99715	0.97460
	bior3.3	0.00833	0.04958	0.15262	0.99993	0.99759	0.97729
1999 Kocaeli	haar	0.01792	0.03907	0.07390	0.99932	0.99676	0.98837
	db4	0.00328	0.01253	0.03363	0.99998	0.99967	0.99760
	bior3.3	0.00280	0.01242	0.03128	0.99998	0.99967	0.99793
1999 Chi-Chi	haar	0.04490	0.08568	0.14554	0.99728	0.99005	0.97101
	db4	0.01772	0.05883	0.09973	0.99958	0.99532	0.98649
	bior3.3	0.01526	0.05412	0.10234	0.99969	0.99604	0.98577
1999 Hector Mine	haar	0.05558	0.11443	0.19866	0.99397	0.97421	0.92006
	db4	0.01884	0.06280	0.13138	0.99931	0.99230	0.96586
	bior3.3	0.01691	0.06157	0.13019	0.99944	0.99260	0.96648

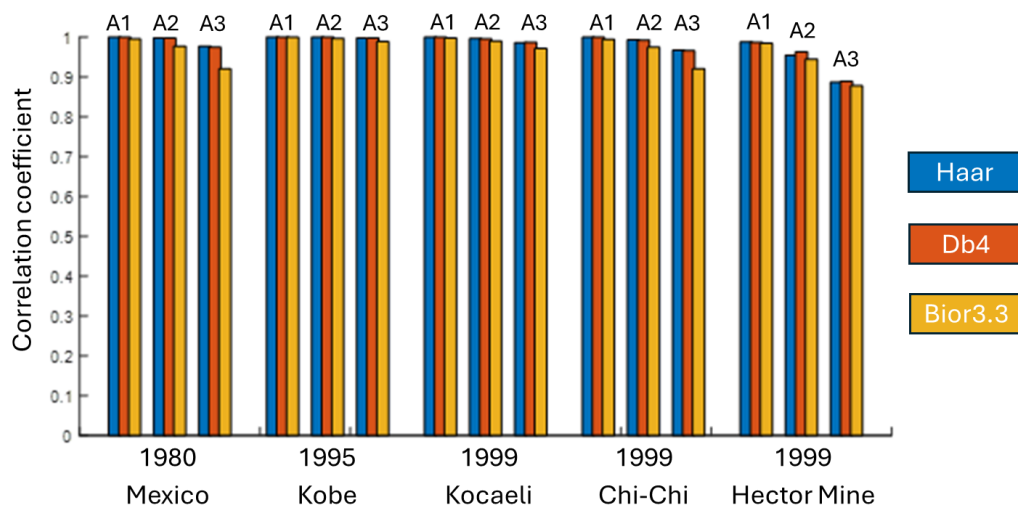


Figure 2. Correlation approximations with real records of NF-NP earthquakes

For pulse-like near-fault motions, the differences between wavelet types become more obvious as given in Table 6. Although A1 still provides the best representation, the increase in RMSE from A1 to A3 is clearer. This indicates that higher-level approximations may remove important components of the pulse. Nevertheless, db4 and bior3.3 continue to yield slightly better accuracy than the haar wavelet. Figure 3 illustrates correlation coefficients given in Table 6.

Table 6 Correlation coefficient of near-fault pulse-like (NF-PL) ground motion records

Record	Mother function	RMSE A1	RMSE A2	RMSE A3	Corr A1	Corr A2	Corr A3
1979 Coyote Lake	haar	0.01954	0.04309	0.08648	0.99893	0.99479	0.97885
	db4	0.00151	0.00680	0.02988	0.99999	0.99987	0.99750
	bior3.3	0.00129	0.00714	0.02513	1.00000	0.99986	0.99823
1994 Northridge	haar	0.15453	0.32311	0.57382	0.99492	0.97760	0.92751
	db4	0.05168	0.17269	0.39140	0.99943	0.99365	0.96695
	bior3.3	0.04684	0.16204	0.38834	0.99953	0.99442	0.96748
1995 Kobe	haar	0.03161	0.06330	0.10694	0.99810	0.99234	0.97798
	db4	0.01123	0.04370	0.07200	0.99976	0.99636	0.99008
	bior3.3	0.00945	0.04036	0.07431	0.99983	0.99689	0.98943
1999 Kocaeli	haar	0.02064	0.04542	0.08665	0.99826	0.99154	0.96887
	db4	0.00095	0.00841	0.04578	1.00000	0.99971	0.99141
	bior3.3	0.00080	0.00629	0.04126	1.00000	0.99984	0.99304
1999 Chi-Chi	haar	0.00771	0.01705	0.03331	0.99952	0.99767	0.99106
	db4	0.00047	0.00351	0.01267	1.00000	0.99990	0.99871
	bior3.3	0.00036	0.00303	0.01202	1.00000	0.99993	0.99884

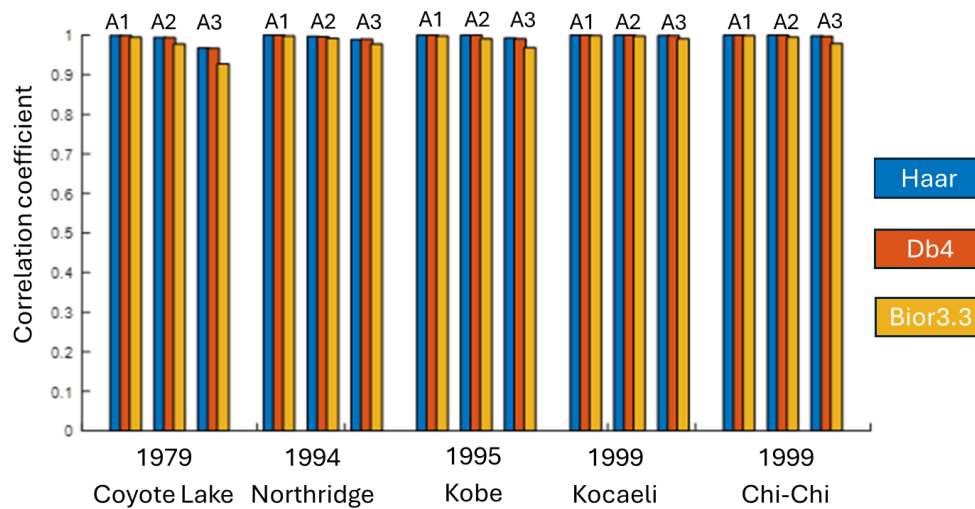


Figure 3. Correlation approximations with real records of NF-PL earthquakes

The results recommend that lower approximation levels preserve the characteristics of earthquake ground motions more effectively, and db4 and bior3.3 wavelets provide more accurate results than the haar wavelet, particularly for complex near-fault ground motions. The outcomes are suitable for use as a reference in seismic analysis of structures and constitute a guideline that can reduce the computational volume in calculating structural responses.

4. CONCLUSION

The mother wavelet function and approximation level are important parameters to analyze ground motions which has different frequency compounds such as FF, NF-NP and NF-PL. Each has different effects on low-frequency decomposition referred as approximation signals in discrete wavelet transform. Among the selected mother functions, Db4 gives more accurate approximations than haar and bior3.3. Low-level decomposition highest correlation. In contrast as the approximation level progresses, error increases and correlation reduce. The outcomes are suitable for use as a reference in seismic analysis of structures and constitute a guideline that can reduce the computational volume in calculating structural responses.

KAYNAKÇA

1. Kandemir, E.C., The effect of frequency-filtered earthquakes for optimum base isolation parameters across varied soil conditions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 193, 109330, 2025.
2. Heidari, A., Pahlavan Sadegh, S., Raeisi, J., Investigating the effect of soil type on non-linear response spectrum using wavelet theory. Int J Civ Eng 17(12):1909–18, 2019.

3. Hanteh, M., Rezaifar, O., Gholhaki, M., Selecting the appropriate wavelet function in the damage detection of precast full panel building based on experimental results and wavelet analysis. J Civ Struct Health Monit 11(4):1013–36, 2021.
4. Kamgar, R., Dadkhah, M., Naderpour, H., Seismic response evaluation of structures using discrete wavelet transform through linear analysis. Structures 29:863–82, 2021.

COMPARATIVE STUDY OF ENERGY DISTRIBUTION OVER FREQUENCY BANDS IN NEAR- AND FAR-FAULT EARTHQUAKES

Prof. Dr., Elif Çağda Kandemir

İzmir Demokrasi Üniversitesi,

elifcagda.kandemir@idu.edu.tr - 0000-0002-9190-7120

ABSTRACT

Earthquakes can be classified as near-fault or far-fault events due to differences in their energy content and characteristics. Mostly, the epicentral distance is assumed effective in definition of these terms, however, the exact difference should be clarified by the energy content of the records. Near-fault ground motions often contain strong velocity pulses and pronounced directivity effects, which introduce significant low-frequency energy into the record. These features can lead to large displacement demands, especially in structures with high natural periods. In contrast, far-fault ground motions tend to exhibit a more distributed frequency content, with relatively greater contributions from moderate- to high-frequency components, resulting in different structural response behavior.

For this reason, examining how seismic energy is distributed across frequency bands provides valuable insight into the fundamental differences between near- and far-fault earthquakes and helps clarify their implications for structural performance. In this study, the discrete wavelet transform (DWT) was used to break down ground motion records into their frequency components, with particular attention to the approximation levels representing the low-frequency content. Five-level approximation has been selected to compare the records. Additionally, the similarity between the original and approximated records was quantified using the root mean square error (RMSE) and the Pearson correlation coefficient.

The analysis revealed that DWT is effective when applied to near-fault pulse-like records. This indicates that, for practical purposes in structural systems, DWT-based signal decomposition can be used to represent the essential characteristics of ground motions while reducing the numerical complexity of the analysis.

Keywords : Discrete wavelet transform, near-fault earthquake, far-fault earthquake, energy content.

1. INTRODUCTION

Earthquakes differ not only in their properties such as depth and magnitude, but also in their effects on structures, depending on the structural characteristics and the distance to the structure. In many studies, the epicentral distance, which is the distance of the record station to the ground projection of hypocentre, taken as between 10-20 km is referred as near-fault earthquake, while longer epicentral distances than 20 km is called as far-fault earthquakes [1-

3]. This terminology is very direct and inadequate approach to classify the earthquakes where the energy and frequency contents are different. Near-fault earthquakes include low frequency energy due to strong velocity pulses. The structure under near-fault ground motions is forced to endure large displacement demands, especially in high-rise structures which has large natural periods. However, far-fault ground motions tend to be dissipated through its transition through soil resulting in more distributed frequency content.

In this study, the wavelet transform, one of the promising methods to decompose frequency contents, was performed to clarify the difference of ground motion characteristics in frequency-time scale. Three types of earthquakes, far-fault (FF), near-fault no-pulse (NF-NP), near-fault pulse-like (NF-PL), have been selected and employed discrete wavelet transform up to five-level decomposition. The Daubechies 4 (db4) mother wavelet function was employed. Each ground motion record was compared graphically with its corresponding approximation time series. In addition, the Pearson correlation coefficient was calculated to numerically interpret the differences between the time series. The results indicate that near-fault pulse-like ground motion records can be represented with relatively high accuracy by their approximation components. This is mainly due to the dominance of low-frequency energy and the presence of distinct velocity pulses in such records. Consequently, the approximated signals are capable of preserving the essential characteristics of the original ground motions. This finding suggests that, for practical structural analyses, the use of approximation levels may provide a simplified representation of near-fault records while maintaining their dominant features. Such an approach can help reduce the duration and computational effort associated with time integration in numerical simulations.

2. NUMERICAL ANALYSIS

Five earthquake record set has been used for each type of earthquakes (FF, NF-NP, NF-PL). Table 1 to 3 presents the selected earthquake ground motions and their magnitude, peak ground acceleration (PGA) and peak ground velocity (PGV) parameters. The earthquake records have been obtained from PEER NGA-West2.

Table 7 Far-fault (FF) ground motion records

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s ²)	PGV (m/s)
1971 San Fernando	LA - Hollywood Stor FF	90	6.6	2.205	0.217
1995 Kobe	Shin-Osaka	90	6.9	2.290	0.218
1999 Kocaeli	Duzce	270	7.5	3.573	0.557
1999 Chi-Chi	CHY086	N	7.6	2.016	0.180
1999 Duzce	Bolu	0	7.1	7.252	0.559

Table 8 Near-fault no-pulse (NF-NF) ground motion records

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s ²)	PGV (m/s)

1980 Mexico	Cerro Prieto	45	6.3	6.331	0.336
1995 Kobe	Nishi-Akashi	0	6.9	4.740	0.468
1999 Kocaeli	Yarimca	150	7.5	3.157	0.719
1999 Chi-Chi	CHY028	E	7.6	6.243	0.614
1999 Hector Mine	Hector	90	7.1	3.220	0.448

Table 9 Near-fault pulse-like (NF-PL) ground motion records

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s ²)	PGV (m/s)
1979 Coyote Lake	Gilroy Array #6	230	5.7	4.138	0.443
1994 Northridge	Rinaldi Receiving Station	228	6.7	8.575	1.480
1995 Kobe	Port Island	0	6.9	3.413	0.907
1999 Kocaeli	Gebze	0	7.5	2.558	0.446
1999 Chi-Chi	CHY006	N	7.6	3.519	0.423

The correlation between time series has been calculated by Pearson correlation coefficient.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

in which x_i represents the i th value of the original ground motion record, y_i denotes the corresponding value of the approximated signal, $\bar{x}$ and $\bar{y}$ are the mean values of the respective time series, and N is the total number of observations.

3. RESULTS

The graphs given in Figure 1,2 and 3 shows the time series of real records and approximations up to 5 level of FF, NF-NP, NF-PL ground motions, respectively. To clarify the differences between time series, calculated Pearson correlation coefficients are presented in related diagrams. Lower level approximations (A1–A2) consistently acquire the dominant low-frequency content of all earthquake records, regardless of fault type. For far-fault and near-fault no-pulse records, higher levels (A4–A5) show reduced correlation. In contrast, near-fault pulse-like records maintain relatively high correlation even at mid-level approximations (A3–A4), indicating that the dominant pulses are well preserved. Overall, these observations suggest that low- to mid-level approximations are sufficient to represent the essential energy and temporal features of seismic records, while higher levels mainly contribute fine-scale details that are less critical for capturing structural response.

For far-fault earthquakes (given in Figure 1), the correlation between the A1 and A2 approximation levels and the original recording is very close to 1.0, meaning that the low-frequency components represent far-fault earthquake records very well. The correlation decreases significantly towards the A5 level (between 0.51 and 0.56), because the high-frequency components are not well captured by the approximation. However it is clear that the

specific approximation level depends on the earthquake type and should be analyzed for the earthquake in question to proceed with seismic analysis of structures.

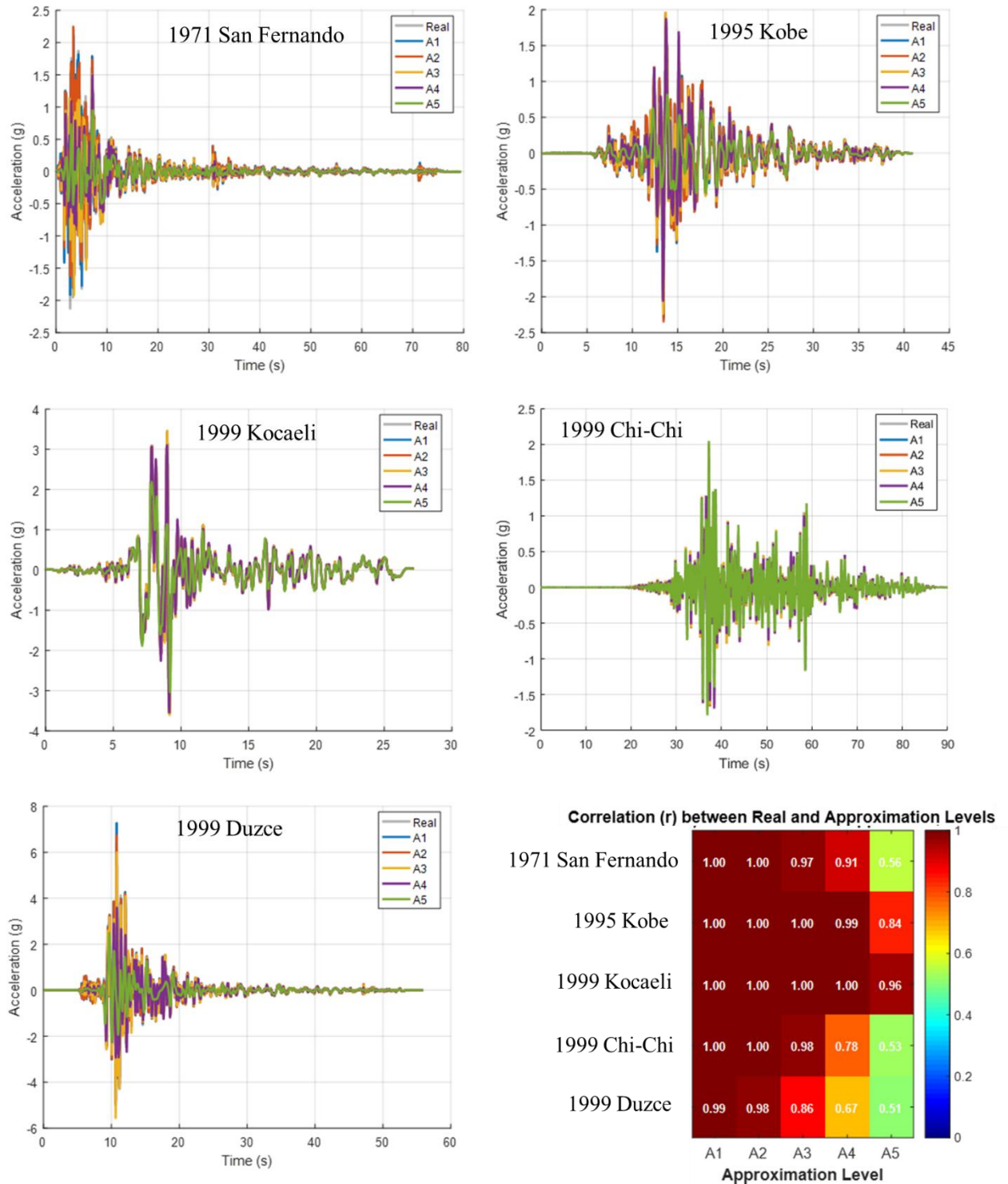


Figure 10. Approximations of FF ground records and correlation graph

In case of near-fault no-pulse records (given in Figure 2), the correlation is again very high at the A1–A2 levels. There is a slight decrease for third (A3) and fourth (A4) level

approximations. In the fifth-level approximation (A5), some records (e.g., 1980 Mexico) have a lower correlation value of 0.39. Near-fault recordings without pulse effect exhibit similar behavior to far-fault recordings in terms of low-frequency components but are more variable at high frequencies.

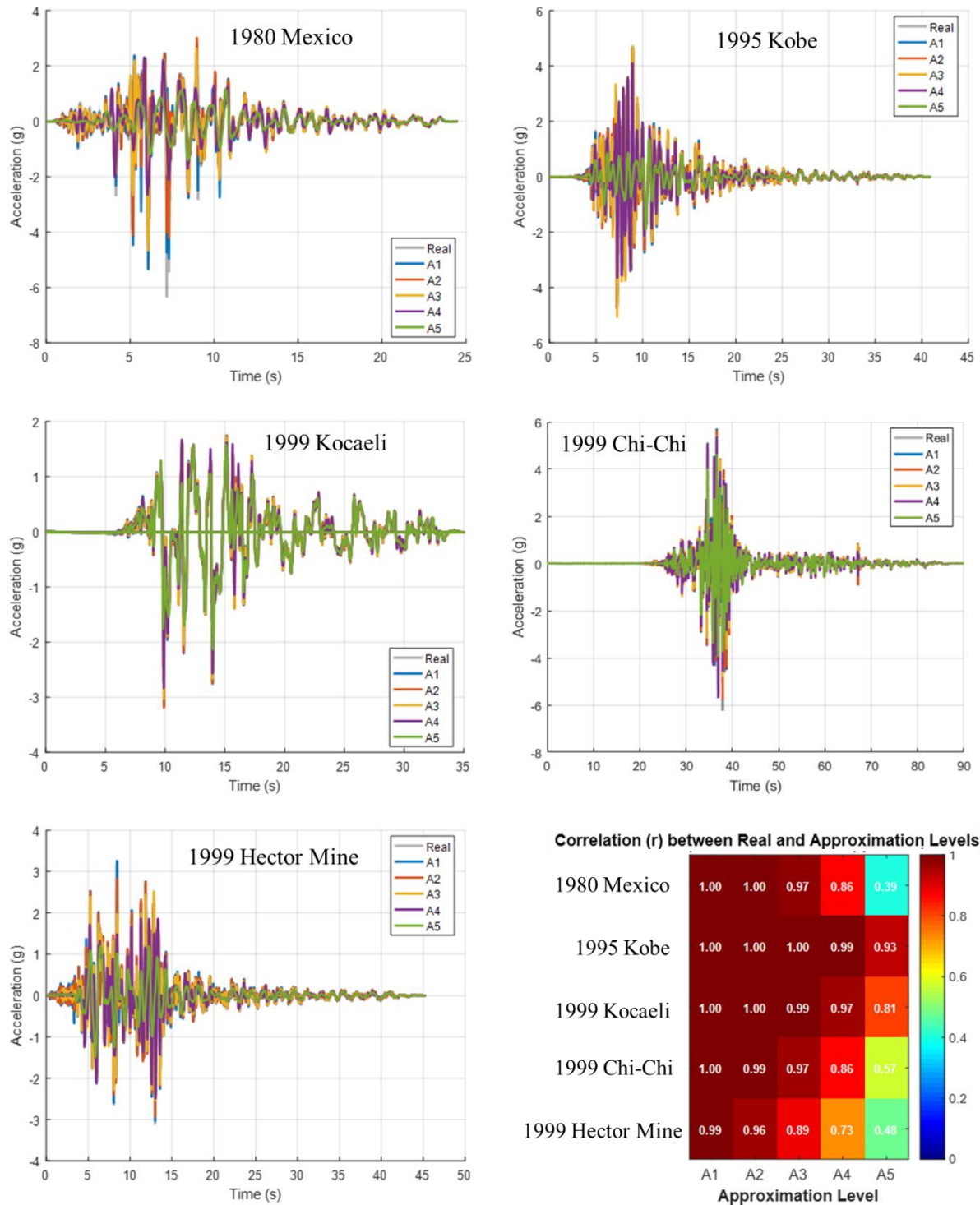
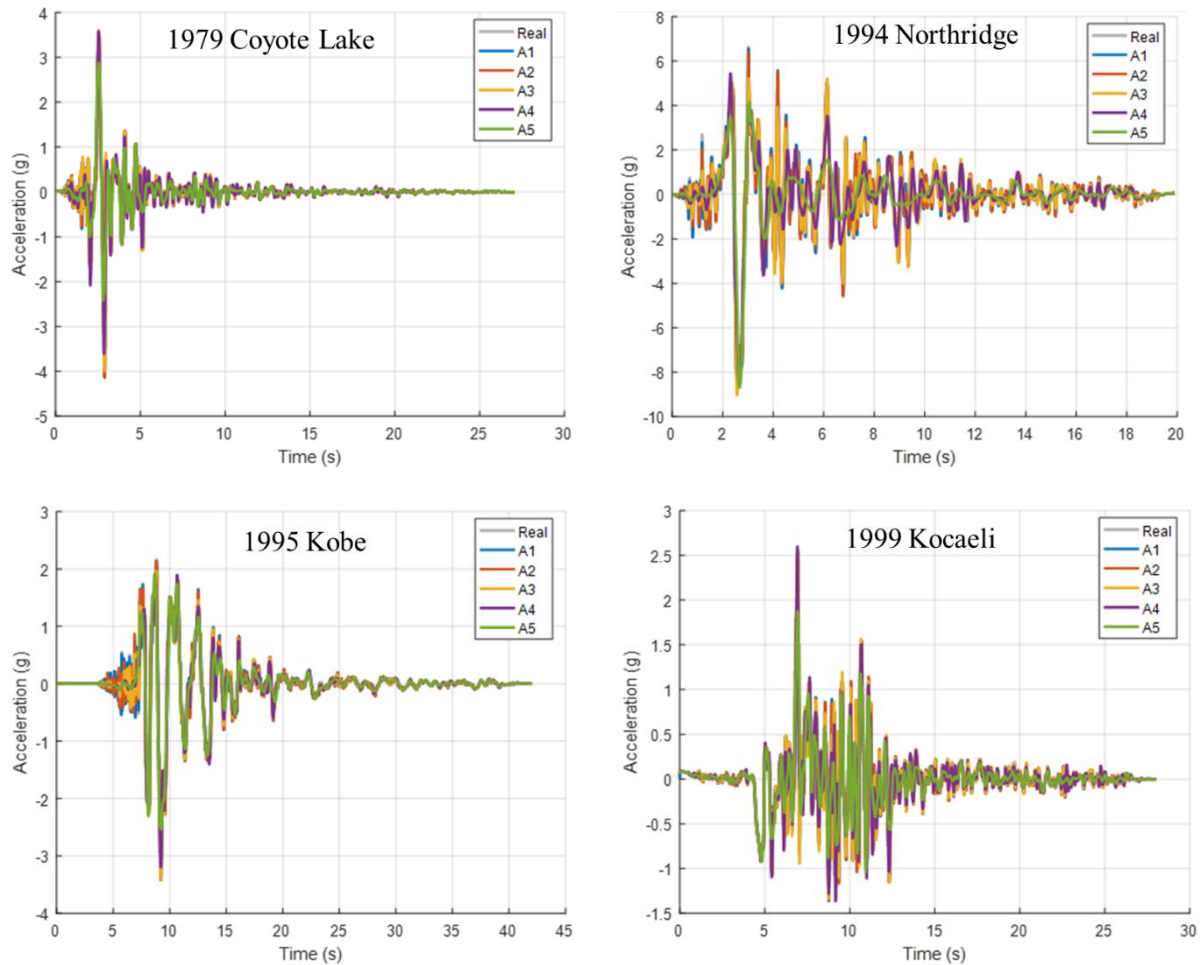


Figure 2. Approximations of NF-NP ground records and correlation graph

Analyses on near-fault pulse-like record (given in Figure 3) demonstrates high correlation at levels A1–A3 (between 0.97–1.0). This indicates that approximation signal have been well captured low frequencies and dominant pulses. At levels A4 and A5, correletaion coefficient decreases slightly (between 0.74–0.87) but is still higher compared to far-fault or no-pulse near-fault recordings. This confirms that the dominant energy components of pulse-like signals are accurately captured at approximation levels and can be used in structural analyses.



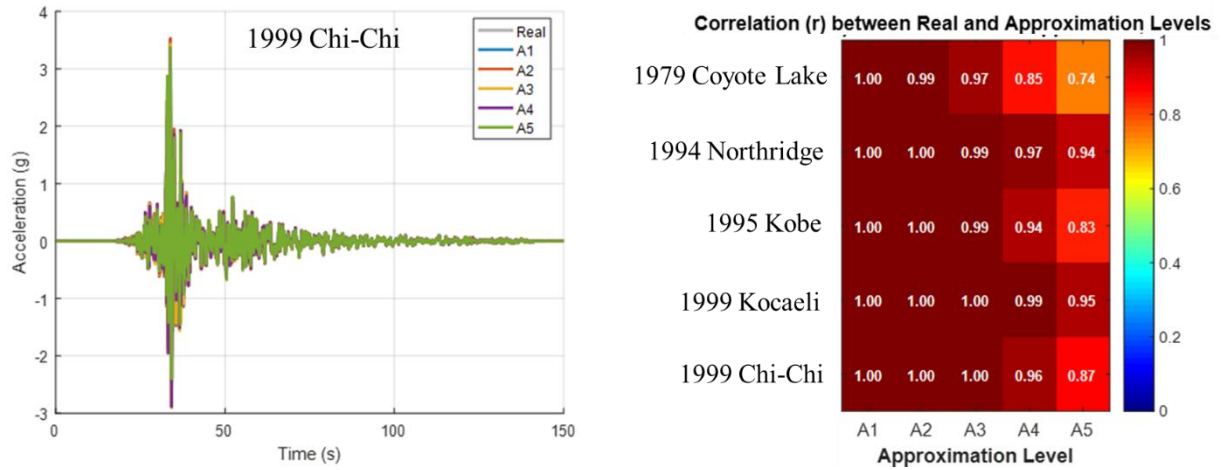


Figure 3. Approximations of NF-PL ground records and correlation graph

4. CONCLUSIONS

The results show that the main low-frequency content of earthquake records is captured very well at lower approximation levels such as first-level (A1) or second-level (A2) decompositions, regardless of fault type. In high level decompositions, fourth-level (A4) and fifth-level (A5), the far-fault and near-fault no-pulse approximations includes mostly high frequency details which are not representative for the real signal. Near-fault pulse-like records, however, keep a strong correlation even at mid-level approximations (A3–A4), meaning that the dominant pulses are preserved and can be reliably used in structural analyses. Overall, low- to mid-level approximations are enough to represent the key energy and timing features of seismic records, while higher levels refine the signal without dramatically changing its structural impact.

KAYNAKÇA

1. Bilgin, H., Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of masonry structures. Eng Struct 300:117200, 2024.
2. Hu, Y., Jiang, L., Ye, J., Zhang, X., Jiang, L., Seismic responses and damage assessment of a mid-rise cold-formed steel building under far-fault and near-fault ground motions. Thin-Walled Struct 163:107690, 2021.
3. Sehhati, R., Rodriguez-Marek, A., ElGawady, M., Cofer, W.F., Effects of near-fault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures. Eng Struct 33:767-779, 2011.

2000 ÖNCESİ İNŞA EDİLEN BETONARME BİR YAPININ LİFLİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Ercan IŞIK

Bitlis Eren Üniversitesi,

eisik@beu.edu.tr- 0000-0001-8057-065X

Doç. Dr. Fatih AVCİL

Bitlis Eren Üniversitesi,

favcil@beu.edu.tr- 0000-0001-6550-550X

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAC

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,

absarac@comu.edu.tr -0000-0002-4279-4158

ÖZET

06 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen sismik olaylar, çok büyük bir bölgede farklı konstrüksiyon özelliklerine sahip çok sayıda binada ağır tahribat veya tam göçme ile sonuçlanmıştır. Gözlemlenen hasar dağılımı incelendiğinde, özellikle 2000 yılı öncesi teknik standartlara göre inşa edilmiş yapı stokunun belirgin zafiyetler sergilediği görülmüştür. Bu çalışma, yapım yılı faktörünün sismik direnç üzerindeki etkisini irdelemek amacıyla, 1975 tarihli "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" (ABYYHY-1975) kriterlerini ve dönemin asgari kesit boyutlarını esas alan 5 katlı bir betonarme model üzerinde yoğunlaşmıştır. Gerçekleştirilen sayısal analizler neticesinde, mevcut modeldeki düşey taşıyıcı elemanların kesme kapasitelerinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu yapısal eksikliği gidermek adına, kesme güvenliği sağlanamayan kolonlara Lifli Polimer (FRP) sargılama tekniği uygulanmış ve model yeniden analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, güçlendirme sonrası kesme kuvveti aşımı sorununun tamamen ortadan kalktığını göstermiştir. Bu sonuçlar, düşük standartlı mevcut yapı stokunun sismik performansını iyileştirmede, uygun mühendislik yöntemleriyle yapılan yerel güçlendirmelerin kritik bir rol oynadığını ampirik olarak kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Kahramanmaraş, lifli polimer, betonarme, güçlendirme

1. GİRİŞ

Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde 6 Şubat 2023 günü gerçekleşen 04:17 ve 13:24 merkezli sismik aktiviteler, birbirini takip eden ve bağımsız dinamiklere sahip iki devasa yer sarsıntısı olarak kayda geçmiştir. "Asrın felaketi" terminolojisiyle kavramsallaştırılan bu süreç, Türkiye'nin aletsel gözlem tarihindeki en ağır sosyo-ekonomik tahribatı ve can kaybını temsil etmektedir. Toplamda 11 vilayeti kapsayan geniş bir etki alanında; betonarme karkas,

yığma kagir ve endüstriyel çelik konstrüksiyonlar da dahil olmak üzere pek çok farklı mühendislik tasarımı, tam kapasite yıkım veya progresif yapısal hasar ile karşı karşıya kalmıştır. Bu deprem sekansını diğer sismik olaylardan ayıran temel karakteristikler; odak noktalarının coğrafi yakınlığına rağmen farklı fay segmentlerinde gelişmesi, yıkıcı ana şokların çok dar bir zaman diliminde ardışık olarak gerçekleşmesi ve etkilenen bölgenin muazzam ölçeğidir. Mevcut yapı stokunun yorulmasına ve kümülatif hasar almasına neden olan bu bileşenler, aynı zamanda afet sonrası müdahale ve rehabilitasyon operasyonlarını da son derece komplike bir hale getirmiştir. Yaşanan felaket, yalnızca fiziksel çevre üzerinde bir enkaz yaratmakla kalmamış; sanayi duraksaması, kritik altyapı şebekelerinin işlevsizleşmesi ve beşeri sermaye kaybı gibi değişkenlerle makro ölçekli, telafisi uzun yıllara yayılacak ekonomik bir dar boğazı da beraberinde getirmiştir (Aydın et al., 2025; Bayraktar et al., 2026; Büyüksaraç et al., 2023; Bilim et al., 2026; İnce et al., 2025; İnce, 2025).

Bu depremler, hakim kentsel yapı stoku olan betonarme yapılarda da çok büyük yıkım ve hasarlara neden olmuştur. Özellikle binaların yapım yılları hasarlarda kritik bir rol oynamıştır. Özellikle 2000 yılı önce inşa edilen yapılardaki yıkım ve hasar oranları daha fazla olmuştur (Aras vd., 2025; Peker et al., 2025; Işık et al., 2025a). Söz konusu yapısal tahribatın temelinde; mimari ve mühendislik tasarımındaki yapısal düzensizlikler, sismik tasarım ilkelerinin hatalı veya yetersiz uygulanması, düşük malzeme kalitesi ve özellikle 2000 yılı öncesindeki denetim mekanizmalarının eksikliği gibi çok boyutlu faktörler yer almaktadır (Eren ve Fenerli, 2026; Işık, 2025a). Geçmiş dönem deprem yönetmeliklerinin öngördüğü düşük dayanım parametrelerine göre inşa edilen binalarda hasar yoğunluğunun artması, 2000 yılı öncesi üretilen yapı stokuna yönelik stratejik müdahale kararlarının hayati önemini teyit etmiştir. Bu bağlamda, mevcut yapıların kapsamlı sismik performans analizlerine tabi tutularak, teknik ve ekonomik fizibilite doğrultusunda "güçlendirme" veya "yeniden inşa" kararlarının alınması, afet risk yönetimi stratejilerinin odağını oluşturmalıdır. Güçlendirme müdahaleleriyle, binaların sismik kapasiteleri hedeflenen performans düzeylerine yükseltilerek, olası bir depremde meydana gelecek yapısal hasarların önlenmesi ve can kayıplarının asgari düzeye indirilmesi hedeflenmektedir. Betonarme sistemlerin rehabilitasyonunda literatürde kabul görmüş çeşitli metodolojiler mevcut olup, bu teknikler arasında taşıyıcı elemanların lifli polimer (FRP) kompozitler ile sargılanması, modern yapı güçlendirme mühendisliğinde yüksek etkinlik sunan ileri bir uygulama olarak öne çıkmaktadır.

Betonarme sistemlerin sismik direnç kapasitelerini optimize etmek üzere kullanılan Lifli Polimer (FRP) kompozitleri, düşük öz ağırlıklarına rağmen sundukları ultra yüksek çekme dayanımlarıyla öne çıkan teknolojik bir güçlendirme çözümüdür. Bu metodolojinin ana eksen; süneklik yeteneği kısıtlı, korozyon etkisiyle kesit kaybına uğramış ya da güncel yük kombinasyonları altında kapasite yetersizliği gösteren yapısal bileşenlerin eğilme, kesme ve eksenel yük dirençlerini bilimsel normlara taşımaktır. Taşıyıcı çerçeve üzerindeki işlevsel katkıları incelendiğinde; kolonlarda uygulanan sargılama (confinement) mekanizması sayesinde sargılı beton dayanımını ve birim şekil değiştirme kabiliyetini maksimize ederken, kiriş ve döşeme gibi yatay elemanlarda ek çekme donatısı işlevi görerek eğilme kapasitesini güçlendirmektedir. Ayrıca, düğüm noktalarında (kolon-kiriş birleşimleri) oluşabilecek gevrek kırılma risklerini elimine ederek, yapının disipatif (enerji sönmüleyici) davranışını iyileştirir.

Oksidasyona karşı sergilediği yüksek korozyon direnci ve uygulama esnasında yapının fonksiyonel sürekliliğini bozmayan non-invaziv (müdahaleci olmayan) yapısı, bu kompozitleri yapısal rehabilitasyon projelerinde stratejik bir mühendislik tercihi kılmaktadır (Işık et al., 2025b, c; Işık, 2025b; Abdoli ve Mostofinejad, 2025; Liu et al., 2025; Zhang et al., 2025; Dirar et al., 2025; Sun et al., 2025; Huang et al., 2025).

Bu çalışma çerçevesinde, 2000 yılı öncesi inşa edilen yapı stokunun sismik karakteristiğini yansıtmak amacıyla, dönemin teknik normlarını belirleyen 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik standartları temel alınmıştır. Bu doğrultuda, ilgili yönetmelikte tanımlanan asgari malzeme sınıfı verileri ile kolon ve kirişlerin geometrik en kesit koşulları dikkate alınarak, beş katlı bir betonarme bina modeli analitik olarak modellenmiştir. Modelin sismik performansını belirlemek için statik itme analizi metodolojisi uygulanmıştır. Analizler sonucunda, yapının yatay yük taşıma kapasitesini sınırlayan ve gevrek kırılma riski taşıyan, özellikle kesme kuvveti kapasitesi sismik talebin altında kalan kritik kolonlar tespit edilmiştir. Kapasite yetersizliği saptanan bu düşey taşıyıcı elemanlara, sargılama etkisiyle sünekliği ve kesme dayanımını artırmak amacıyla Lifli Polimer (FRP) takviye stratejisi entegre edilmiş ve sayısal analizler bu güçlendirme senaryosu altında tekrarlanmıştır. Çalışmanın değerlendirme safhasında, referans model ile güçlendirilmiş modelden elde edilen veriler; kesme kuvveti kapasite aşımaları karşılaştırmalı analize tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgular ışığında, FRP uygulamalarının mevcut yapı stokunun iyileştirilmesindeki etkinliği yorumlanmış ve benzer yapısal özelliklere sahip binaların rehabilitasyon süreçlerine yönelik mühendislik önerileri sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2023 Kahramanmaraş depremleri, Türkiye'deki mevcut yapı stokunun sismik direnç kapasitesini gerçek zamanlı ve devasa ölçekli bir deneye tabi tutmuştur. İnşaat mühendisliği perspektifinden bakıldığında, özellikle 2000 yılı öncesinde inşa edilen yapılar üzerindeki yıkıcı etkiler, bu yapılar ile ilgili güçlendirme ve yıkım kararlarının gerekliliğini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bu dönem yapılarında yaygın olarak gözlemlenen düşük beton dayanımı, düz donatı kullanımı ve etriye sıklaştırması eksikliği gibi teknik zafiyetler, yapıların sismik enerji sönümleme kapasitesini sınırlayarak gevrek kırılma mekanizmalarını tetiklemiş; sonuç olarak da toptan göçme riskini maksimize etmiştir. Bu yapısal risklerin minimize edilmesi için bu tür yapılar detaylı deprem performans analizlerinden sonra güçlendirme ve yeniden yapım kararlarının bir gereklilik olduğu, bu depremlerden sonra bir kez daha gözler önüne serilmiştir. 2000 yılı öncesi inşa edilmiş ve toptan göçmeye maruz kalmış betonarme (BA) yapı örneği Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1. 2000 yılı öncesi inşa edilmiş ve toptan göçmeye maruz kalmış BA yapı örneği

Toptan göçmelerin yanı sıra özellikle kritik kat olan zemin kat ve üstündeki katlarda yapı taşıma kapasitesi aşılmış, en altta yer alan ilk iki katta yıkım ve hasarlar meydana gelmiştir. 2000 yılı önce inşa edilmiş ve ilk katının tamamen toptan göçmeye maruz kaldığı betonarme yapı örneği Görsel 2’de gösterilmiştir.



Görsel 2. İlk katının toptan göçmeye maruz kaldığı BA yapı örneği

2000 yılı öncesi inşa edilen ve kritik kat olarak adlandırılan zemin katta meydana gelen göçme örneği ise Görsel 3’te gösterilmiştir.



Görsel 3. Zemin katın toptan göçme örneği

Türkiye yaşadığı yıkıcı depremlerin ardından depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinde güncellemeler ve değişiklikler yapmıştır. Mühendislik ve inşaat teknolojilerindeki paradigma değişimlerine bağlı olarak, sismik risklerin minimize edilmesi hedefiyle yapısal tasarım ve uygulama esasları sürekli bir evrim geçirmiştir; bu teknik standartlar yasal mevzuatlar aracılığıyla bağlayıcılık kazanmıştır. Türkiye'deki depreme dayanıklı yapı tasarımı pratiği, tarihsel bir perspektifle incelendiğinde, başlangıçta genel afet yönetmelikleri içerisinde yer alırken süreç içerisinde on ayrı güncelleme ile daha spesifik ve kapsamlı bir yapıya kavuşmuştur. Bu düzenlemelerin yürürlükte olduğu dönemlerde tecrübe edilen yıkıcı depremler, mevcut mühendislik yaklaşımlarının sahadaki performansını doğrudan sınamış ve saptanan yapısal zafiyetler, yönetmelik metinlerinin bilimsel veriler ışığında revize edilmesini veya tamamen yeniden yapılandırılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Teorik mühendislik bilgisinin saha gözlemleriyle harmanlanması sonucu dinamik bir modernizasyon sürecine tabi tutulan bu normlar, asli işlevleri sismik güvenliği tesis etmek olduğu için hem akademik literatürde hem de mesleki uygulamada genel kabul görmüş haliyle "deprem yönetmelikleri" olarak tanımlanmaktadır (Alyamaç ve Erdoğan, 2005; Işık, 2021). Türkiye’de yürürlüğe girmiş olan deprem yönetmelikleri;

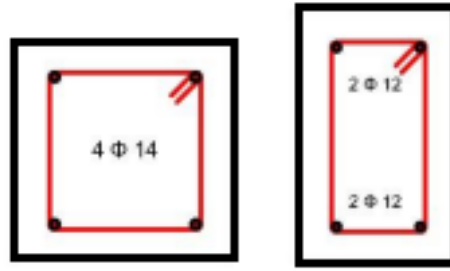
- ❖ 1940 – Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaat Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- ❖ 1944 – Zelzele Mıntıklarında Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- ❖ 1949 – Türkiye Yer Sarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- ❖ 1953 – Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- ❖ 1962 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- ❖ 1968 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- ❖ 1975 – Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- ❖ 1998 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- ❖ 2007 – Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- ❖ 2018 – Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

Bu çalışma kapsamında ABYYHY-1975'te öngörülen minimum kolon ile kiriş en kesit koşulları ve malzeme sınıfları dikkate alınarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Dikkate alınan en kesit ve malzeme koşulları

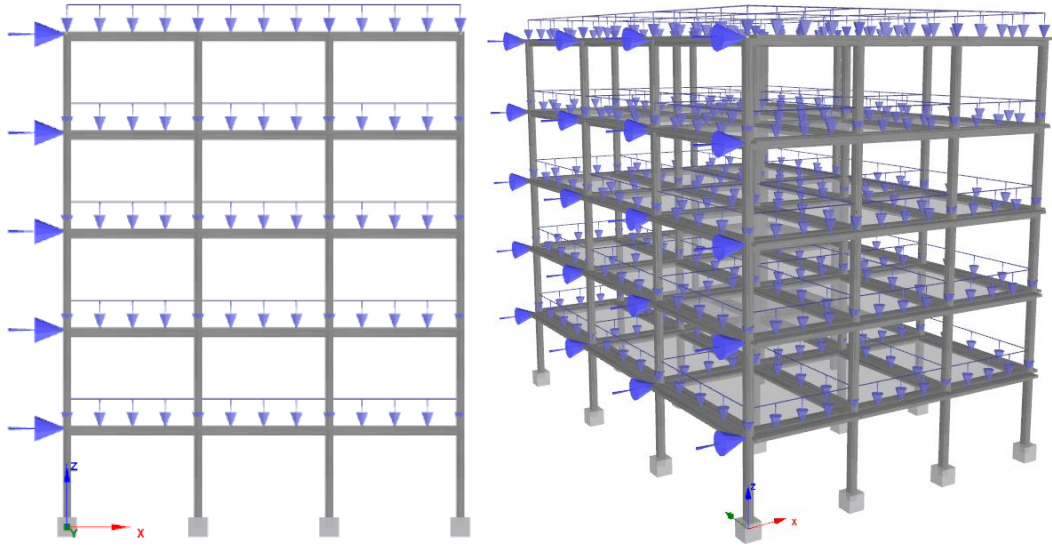
Parametre	ABYYHY-1975
Beton	C14
Donatı	S220
Kolonlar (mm)	250*250
Kirişler (mm)	200*300
Kiriş alt donatı	2Φ12
Kiriş üst donatı	2Φ12
Kolon boyuna donatı	4Φ14
Enine donatı	Φ8/200

Kolon ve kirişlere ait minimum koşullar dikkate alınarak oluşturulan kolon ve kiriş en kesitleri Görsel 4'te gösterilmiştir.



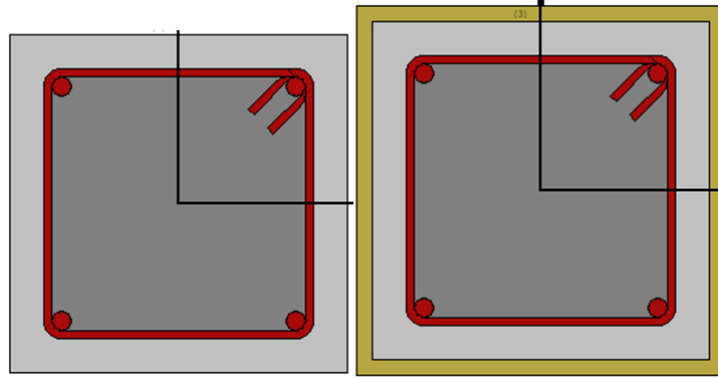
Görsel 4. Çalışmada dikkate alınan kolon ve kiriş en kesitleri

Bu çalışma kapsamında, orta yükseklikteki betonarme binaları temsil etmek adına 5 katlı betonarme bir yapı örneği dikkate alınmıştır. Malzeme olarak C14-S220 seçimi yapılan bina modelinde her bir kat yüksekliği 3m olarak dikkate alınmıştır. Yapı her iki doğrultuda simetrik olarak seçilmiştir. Yapıda herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Yapısal analizler Seismostruct (Seismosoft, 2025) yazılımında yer alan statik itme analizi kullanılmıştır. Dikkate alınan yapısal model için elde edilen 2 ve 3 boyutlu modeller Görsel 5'te gösterilmiştir.



Görsel 5. Örnek BA yapı için 2 ve 3 boyutlu modeller

Bu çalışmada güçlendirme uygulamaları sadece kolonlara uygulanmıştır. Kolonlarda güçlendirme öncesi ve sonrası elde edilen kolon en kesitleri Görsel 6’da gösterilmiştir.



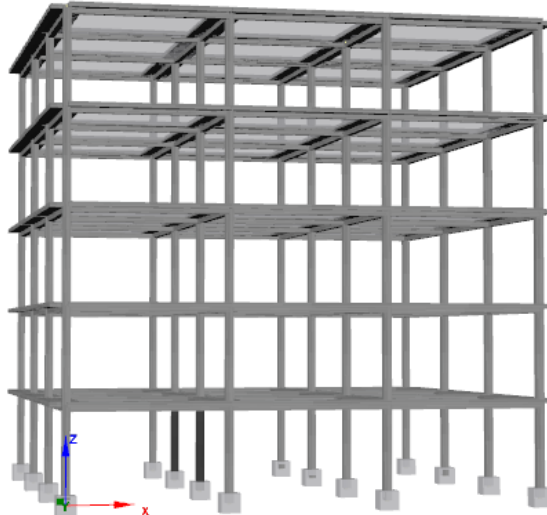
Görsel 6. Güçlendirme öncesi ve sonrası için kolon en kesitleri

Referans bina olarak modellenen ve ABYYHY-1975’teki minimum en kesit ve malzeme koşullara sahip 5 katlı betonarme yapı için elde edilen kesme kuvvet hasar durumu Görsel 7’de gösterilmiştir.



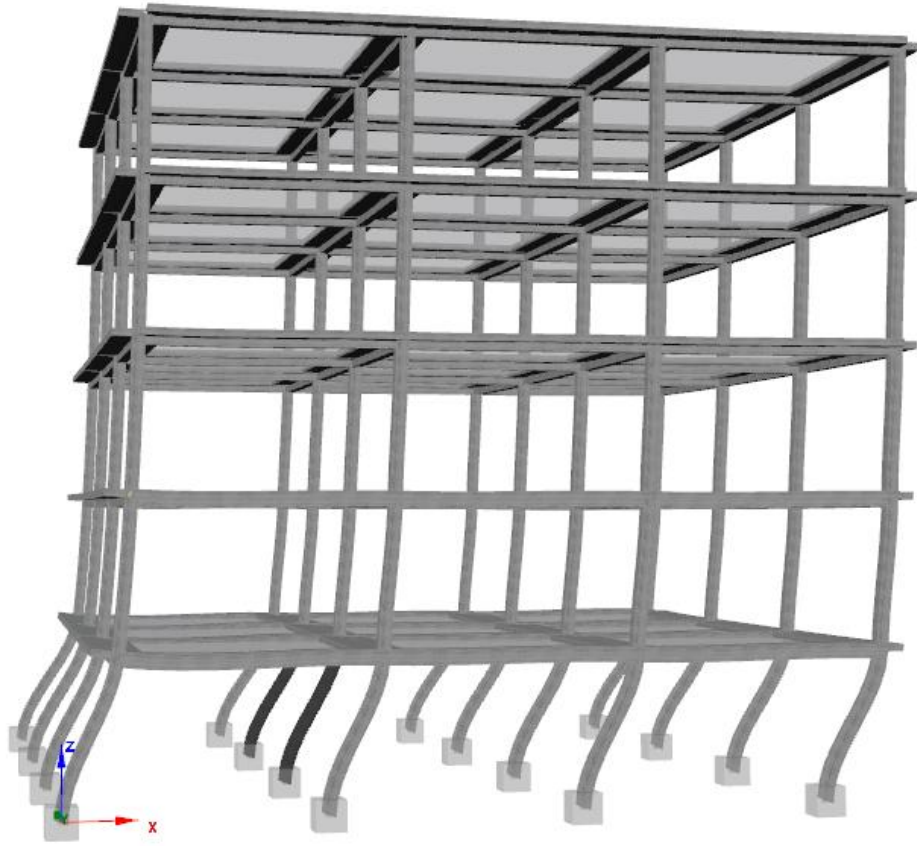
Görsel 7. Referans bina modeli için kesme kuvvet hasar durumu

Görsel 7’den görüleceği üzere minimum koşullar dikkate alınarak herhangi bir yapısal düzensizlik içermeyen referans binada zemin katta yer alan ve kesme kuvvet kapasitesi aşıl原因 iki adet kolon bulunmaktadır. Sadece kesme kuvvet kapasitesi aşıl原因 kolonlara FRP uygulaması yapılarak elde edilen üç boyutlu yapısal model Görsel 8’de gösterilmiştir. Siyah renkli kolonlara FRP uygulaması yapılmıştır.



Görsel 8. Güçlendirilen kolonlar için elde edilen üç boyutlu model

Güçlendirme sonrası elde edilen kesme kuvvet kapasitesi için elde edilen deformasyon durumu Görsel 9’da gösterilmiştir.



Görsel 9. Önerilen güçlendirme sonrası elde edilen kesme kuvvet için deformasyon durumu

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu araştırma, 2000 öncesi inşa edilmiş mevcut yapı stokunun sismik karakteristiğini anlamak adına, ABYYHY-1975 standartlarındaki asgari malzeme kalitesi ve geometrik sınır şartları referans alınarak kurgulanan 5 katlı bir betonarme binanın deprem performansını mercek altına almaktadır. Yapılan statik itme analizleri, binada herhangi bir geometrik düzensizlik bulunmamasına rağmen, düşey taşıyıcı elemanların bir kısmında kesme kapasitesi yetersizliği olduğunu saptamıştır. Bu veriler; yetersiz etriye sıklaştırması, düşük kaliteli beton kullanımı ve süneklik kapasitesinin düşüklüğü gibi kronik yapısal bozulmaların, 2023 Kahramanmaraş depremlerinde gözlemlenen dramatik yıkımların temel katalizörü olduğu gerçeğini bilimsel olarak desteklemektedir.

Kapasite yetersizliği gösteren kolonlara yönelik uygulanan Lifli Polimer (FRP) takviyesi sonrası yenilenen sayısal analizler, müdahalenin yapısal bütünlük üzerindeki dönüştürücü etkisini kanıtlamıştır. Güçlendirme sonrasında kolonlarda kesme kuvveti aşımı tamamen ortadan kalkmış, böylece yapının en büyük riski olan ani ve gevrek kırılma modları devre dışı bırakılmıştır. FRP kompozitlerinin yarattığı pasif sargılama mekanizması, betonun eksenel basınç dayanımını ve deformasyon limitlerini yukarı çekerek, sistemin deprem enerjisini daha stabil bir şekilde sönmlemesine olanak tanımıştır. Bu durum, FRP teknolojinin mevcut

binalarda hem operasyonel kolaylık hem de yüksek performans artışı sağlayan rasyonel bir rehabilitasyon stratejisi olduğunu teyit etmektedir.

Eski deprem yönetmeliklerinin asgari şartlarını sağlayan binaların dahi güncel sismik talepler karşısında savunmasız kaldığını, ancak stratejik eleman bazlı güçlendirmelerin bu zafiyeti büyük ölçüde giderdiğini göstermektedir. Özellikle gevrek kesme hasarlarını önlemedeki etkinliği göz önüne alındığında, FRP ile kolon iyileştirmesinin topyekûn göçme riskini minimize etmede hayati bir fonksiyon üstlendiği açıktır. Dolayısıyla, riskli yapı stokunun detaylı analizler ışığında, yıkım yerine "performans odaklı güçlendirme" alternatifleriyle değerlendirilmesi, gelecekteki olası afetlerde can ve mal güvenliğini tesis edecek en verimli mühendislik yaklaşımı olarak önerilmektedir.

06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, özellikle 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş mevcut yapı stokunun sismik talepler karşısındaki yetersizliğini ve modern mühendislik standartlarına uyumun hayati önemini bir kez daha teyit etmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen ABYYHY-1975'teki 5 katlı betonarme modelde saptanan kesme kuvveti kapasite aşımaları ve gevrek kırılma riskleri, düşük malzeme dayanımı ile yetersiz donatı detaylandırmasının yapısal bütünlük üzerindeki yıkıcı etkisini ampirik olarak ortaya koymuştur. Ancak, kapasite yetersizliği gösteren kritik kolonlara uygulanan Lifli Polimer (FRP) takviyesiyle gerçekleştirilen sayısal analizler, bu tür lokal müdahalelerin yapının sismik performansını hedeflenen güvenli düzeylere taşıyabildiğini ve gevrek hasar mekanizmalarını tamamen engelleyebildiğini göstermiştir.

Sonuç olarak; 2000 yılı öncesi üretilen binaların kentsel dönüşüm veya yerinde güçlendirme stratejileriyle rehabilite edilmesi, toplumsal deprem direncinin artırılmasında en öncelikli adım olarak değerlendirilmelidir. Lifli polimer uygulamaları gibi düşük uygulama maliyetli ve yüksek performans verimliliği sunan teknolojik çözümlerin, özellikle ekonomik veya operasyonel nedenlerle yıkımı mümkün olmayan yapılar için sürdürülebilir bir güçlendirme alternatifi sunduğu saptanmıştır. Bu bağlamda, mevcut yapı stokunun detaylı mühendislik analizleriyle sınıflandırılması ve eleman bazlı proaktif güçlendirme kararlarının alınması, gelecekteki olası sismik aktivitelerde can ve mal kayıplarının asgari düzeye indirilmesi açısından kritik bir strateji olarak önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Bayraktar, A., Bayraktar, S., Núñez, T. R., Brzev, S., Ventura, C. E., Yang, T. Y., ... & Taş, Y. Seismic demand and performance for severely damaged low-rise buildings during the February 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, earthquake sequence, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 203, 109999, 2026.
2. Aydın, M. C., Işık, E., Büyüksaraç, A., Ulu, A. E., & Avcil, F. Technical and socio-economic perspective on the disaster of the century (6 February 2023 earthquake) in Türkiye on the second anniversary, *Geological Journal*, 2025.
3. Büyüksaraç, A., Işık, E., Bektaş, Ö., & Avcil, F. Achieving intensity distributions of 6 February 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) earthquakes from peak ground acceleration records, *Sustainability*, 16(2), 599, 2024.

4. Bilim, F., Koşaroğlu, S., & Aydemir, A. Relationship between crustal magnetic anomalies and earthquake activity in Malatya and surrounding region after the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, southeastern Türkiye, *Acta Geophysica*, 74(1), 48, 2026.
5. İnce, E. G., Çakıl, B., Şimşek, M., & İnce, O. Evaluation of ground motions and seismic performance of RC buildings after 2023 Kahramanmaraş earthquakes: design and construction deficiencies, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-28, 2025.
6. İnce, E. G. Seismic performance of RC buildings with one-way joist slab: Insights from the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, *Structural Concrete*, 2025.
7. Aras, F., Doğan, T. P., Öztürk, M., Tün, M., Işık, E., & Arslan, M. H. Assessment of the damage caused by the 6 February 2023 earthquakes on old and new dated reinforced concrete buildings in Elbistan, Turkey, *Advances in Structural Engineering*, 13694332251375194, 2025.
8. Peker, F. Ü., Yuzbasi, J., Işık, E., Büyüksaraç, A., & Avcil, F. Damage assessment, regional ground motion record evaluation, and seismic performance analysis of a high-rise 14-story dual system building after the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, *Structures*, 80, 109897, 2025.
9. Işık, E., Shao, Y. B., Hadzima-Nyarko, M., Radu, D., Bulajic, B., & Lozancic, S. Enhancing the seismic safety of upgraded RC buildings using FRP retrofitting: analytical and field evidence from the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-35, 2025.
10. Eren, M. E., & Fenerli, C. Seismic failure mechanism shift in RC buildings revealed by NDT-supported, field-calibrated BIM-based models, *Applied Sciences*, 16(1), 455, 2026.
11. Işık, E. Parameters in the rapid evaluation method in reinforced-concrete structures in the light of the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, *Earthquakes and Structures*, 29(4), 269, 2025.
12. Işık, E., Radu, D., Harirchian, E., Avcil, F., Arkan, E., Büyüksaraç, A., & Hadzima-Nyarko, M. Failures in reinforced-concrete columns and proposals for reinforcement solutions: Insights from the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, *Buildings*, 15(9), 1535, 2025.
13. Işık, E. A study on strengthening RC structural elements with fibers-based polymers, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14(2), 1269-1286, 2025.
14. Işık, E., Hadzima-Nyarko, M., Tayeh, B. A., Harrat, Z. R., Avcil, F., & Arkan, E. Comparison of reinforcement methods with advanced materials for RC columns, *Advanced Engineering Letters*, 4(1), 1-13, 2025.
15. Abdoli, M., & Mostofinejad, D. Shear-torsion interaction in FRP-strengthened RC members: modeling, failure modes, and experimental correlation, *Construction and Building Materials*, 500, 144138, 2025.
16. Liu, Y., Hao, Y., Hao, H., & Zhou, Y. Fragility assessment of FRP-strengthened RC beams with chloride-induced corrosion damage under impact loads, *Reliability Engineering & System Safety*, 111728, 2025.
17. Zhang, S. S., Zhang, D. D., & Nie, X. F. Behavior of RC interior beam-to-column joints with FRP-strengthened beam web openings under cyclic loading, *Engineering Structures*, 324, 119373, 2025.
18. Dirar, S., Sogut, K., Caro, M., Rahman, R., Theofanous, M., & Faramarzi, A. Effect of shear span-to-effective depth ratio and FRP material type on the behavior of RC T-beams strengthened in shear with embedded FRP bars, *Engineering Structures*, 332, 120105, 2025.

19. Sun, P. X., Bai, Y. L., & Peng, K. D. Behavior and analytical modelling of slender RC columns strengthened by LRS FRP under eccentric compression, *Journal of Building Engineering*, 114057, 2025.
20. Huang, C., Zhang, R., Zhang, J., Guo, X., Wei, P., Wang, L., ... & Wang, Y. A novel method for fatigue design of FRP-strengthened RC beams based on machine learning, *Composite Structures*, 359, 118867, 2025.
21. Işık, E. A comparative study on the structural performance of an RC building based on updated seismic design codes: Case of Turkey, *Challenge*, 7, 123-134, 2021.
22. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1975), Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 1975.
23. Seismosoft. SeismoStruct 2025—A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, 2025. <http://www.seismosoft.com>
24. Alyamaç, K. E., & Erdoğan, A. S. Geçmişten günümüze afet yönetmelikleri ve uygulamada karşılaşılan tasarım hataları, *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 707-715, 2005.

DEPREME DAYANIKLI KENTSEL PLANLAMA

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
absarac@comu.edu.tr -0000-0002-4279-4158

Prof. Dr. Ercan IŞIK
Bitlis Eren Üniversitesi,
eisik@beu.edu.tr - 0000-0001-8057-065X

Doç. Dr. Fatih AVCİL
Bitlis Eren Üniversitesi,
favcil@beu.edu.tr - 0000-0001-6550-550X

ÖZET

Sismik olarak aktif bölgelerde hızlı kentleşme, dünya çapında deprem riskini önemli ölçüde artırmıştır. Geleneksel kentsel planlama yaklaşımları genellikle arazi kullanım verimliliği ve ekonomik büyümeyi önceliklendirirken, sismik tehlikeyi ve yerel zemin koşullarını yeterince dikkate almamaktadır. Son zamanlarda yaşanan felaket depremler, kentsel savunmasızlığın büyük ölçüde sadece bina tasarımı ile değil, aynı zamanda yerleşim yeri, yoğunluk dağılımı, altyapı ağları ve toprak-yapı etkileşimi gibi planlama kararlarıyla da kontrol edildiğini göstermiştir. Bu çalışma, sismik tehlike değerlendirmesi, saha karakterizasyonu, kentsel morfoloji analizi ve dayanıklılık temelli planlama stratejilerini birleştiren depreme dayanıklı kentsel planlama için bütünleşmiş bir çerçeve sunmaktadır. Önerilen yaklaşım, jeofiziksel ve jeoteknik verileri mekânsal planlama araçlarıyla birleştirerek risk odaklı kentsel gelişimi desteklemektedir. Deprem riski yüksek bölgelerden yapılan vaka tabanlı değerlendirmeler, havza etkilerinin, sınılaşma hassasiyetinin ve kentsel formun hasar dağılımını nasıl etkilediğini göstermektedir. Sonuçlar, mikrobölgeleme, uyarlanabilir arazi kullanımı planlaması ve dayanıklı altyapı sistemlerinin sismik kayıpları önemli ölçüde azaltabileceğini vurgulamaktadır. Çalışma, sürdürülebilir ve depreme dayanıklı şehirler elde etmek için bilimsel tehlike değerlendirmesini kentsel yönetim süreçlerine entegre eden çok ölçekli bir planlama modeli önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Deprem dayanımı, kentsel planlama, sismik mikrobölgeleme, saha etkileri, afet riski azaltma, dayanıklı şehirler

1. GİRİŞ

Depremler, kentsel ortamları etkileyen en yıkıcı doğal tehlikelerden biri olmaya devam etmektedir. Tektonik olarak aktif bölgelerde artan nüfus yoğunluğu ve kontrolsüz kentsel büyüme, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sismik riski arttırmaktadır. İnşaat mühendisliğindeki ilerlemeler bina performansını arttırsa da büyük deprem felaketleri kentsel planlama kararlarına dayanan sistemik kırılganlıkları ortaya çıkarmaya devam etmektedir. 1999 İzmit Depremi (Mw7.4), 2011 Tohoku Depremi (Mw9.1) ve 2023 Kahramanmaraş depremi dizisi (Mw7.7 ve Mw7.5) gibi yakın tarihli büyük depremler, hasar dağılımının yerel zemin koşulları, havza geometrisi, altyapı düzeni ve arazi kullanım politikalarıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir (Görsel 1). Bu gözlemler, bir kentin deprem dirençliliğinin yalnızca yapı yönetmelikleriyle sağlanamayacağını, zemin araştırmaları, yapı teknolojileri ile kentsel planlama disiplinleri arasında güçlü bir uyum ve iş birliği gerektiğini ortaya koymuştur.

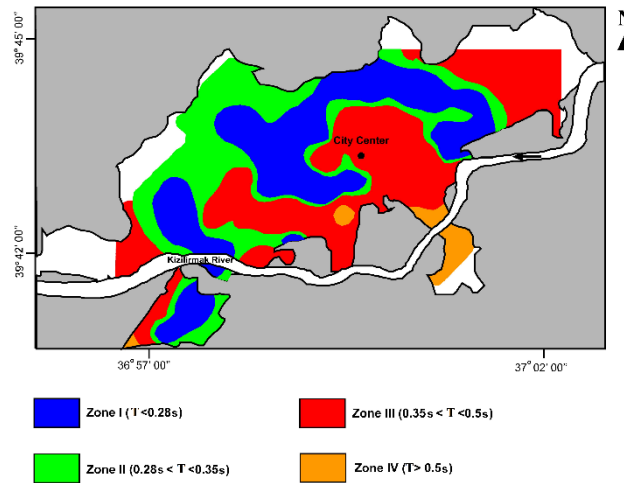


Görsel 1. Yakın tarihlerde meydana gelen felaket olarak nitelendirilen depremlerden bazıları

Depremler, özellikle aktif fay hatları üzerinde bulunan şehirlerde ciddi can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetler arasında yer almaktadır. Bu nedenle şehirlerin afetlere karşı daha güvenli hale getirilmesi amacıyla deprem dayanıklı kentsel planlama yaklaşımı önem kazanmıştır. Bu yaklaşım, zemin özellikleri, yapılaşma yoğunluğu ve altyapı sistemleri gibi unsurların bütüncül bir şekilde ele alınmasını gerektirir. Literatürde yapılan bilimsel çalışmalar, deprem riskinin azaltılmasında yalnızca yapıların güçlendirilmesinin yeterli olmadığını, aynı zamanda şehir planlama kararlarının da afet risk yönetimi ile entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Tekeli, 2010). Kentsel planlama alanında yapılan araştırmalarda özellikle zemin etütlerine dayalı planlama, mikrobölgeleme çalışmaları, yapı yoğunluğunun kontrolü ve açık

alanların planlanması gibi konular öne çıkmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen yöntemler sayesinde şehirlerin deprem riskleri analiz edilmekte ve güvenli yerleşim alanlarının belirlenmesi mümkün olmaktadır (Güzer, 2023). Ayrıca deprem sonrası şehirlerin hızlı toparlanabilmesi için ulaşım ağları, acil toplanma alanları ve kritik altyapı sistemlerinin planlama süreçlerine dahil edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Gerdan, 2021). Türkiye’de yapılan akademik çalışmalar da özellikle kentsel dönüşüm, risk haritaları ve afet yönetimi entegrasyonu üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalar, deprem riskinin yüksek olduğu şehirlerde güvenli yerleşim alanlarının oluşturulması ve sürdürülebilir kentsel gelişimin sağlanması açısından önemli katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda deprem dayanıklı kentsel planlama, şehirlerin yalnızca fiziksel olarak değil aynı zamanda sosyal ve kurumsal açıdan da afetlere karşı dirençli hale getirilmesini hedefleyen önemli bir planlama yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (AFAD, 2020).

Kentsel planlamaya altlık oluşturmak üzere temel çalışmalar özellikle mikrobölgeleme kapsamında gerçekleştirilmektedir. Örneğin İstanbul Deprem Master Planı çalışmaları çerçevesinde Zeytinburnu bölgesinde gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmasında yerel zemin koşullarının deprem kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma kapsamında detaylı jeolojik ve geoteknik incelemeler yapılmış, sondaj verileri kullanılarak zemin sınıflandırması ve zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir (Topal vd. 2006). Bursa Yenişehir yerleşim alanı için yapılan mikrobölgeleme araştırmasında zemin özellikleri, sıvılaşma potansiyeli ve zemin büyütmesi analiz edilmiştir. Çalışmada sondaj verileri, mikrotremor ölçümleri ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar yerleşime uygun alanların belirlenmesine katkı sağlamıştır (Kolay, 2010). Antakya’da varolan deprem tehlikesinin farklı zemin koşullarında karşılama düzeyi tanımlanmış ve olası bir depremde zeminlerin büyütme düzeyleri belirlenmiştir (Over vd., 2011). Sivas merkez yerleşiminde deprem kaynaklarına uzak olmasına karşın farklı zeminlerin deprem sırasında davranışlarını analiz eden sismik mikrobölgeleme çalışması ile deprem duyarlık haritaları hazırlanmıştır (Büyüksaraç vd. 2013) (Görsel 2).



Görsel 2. Sivas merkez yerleşimi mikrobölgeleme haritası (Büyüksaraç vd. 2013)

Depreme dayanıklı kentsel planlama, tehlike bilgisini kentsel gelişim süreçlerine dahil eden mekânsal planlama stratejileri aracılığıyla sismik riski en aza indirmeyi amaçlar. Bu çalışma, sismik tehlike analizini kentsel planlama uygulamasıyla birleştiren kavramsal ve metodolojik bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir. Bu çalışmanın amaçları şunlardır:

- Deprem hasarını kontrol eden temel kentsel faktörleri belirlemek
- Sismik tehlike ve saha etkilerini planlama çerçevelerine entegre etmek.
- Dayanıklılık temelli bir kentsel planlama modeli önermek
- Depreme eğilimli şehirler için uygulama stratejilerini tanımlamaktır

2. DEPREM RİSKİ VE KENTSEL SİSTEMLER

Deprem riski genellikle şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Risk} = T \times M \times HG$$

Burada

T: Tehlike: zemin sarsıntı yoğunluğu, fay yakınlığı, saha güçlendirilmesi.

M: Maruziyet: nüfus, binalar, altyapı.

HG: Hasar görülebilirlik: yapısal kırılganlık ve kentsel yapı.

Kentsel planlama, doğrudan maruz kalma ve hasar görülebilirlik bileşenlerini etkiler (Görsel 3). Plansız kentsel büyüme, beraberinde birkaç sismik risk faktörünü de oluşturur:

1. Gevşek tortular ve alüviyal havzalar üzerine yerleşim,
2. Açık tahliye alanları olmadan yüksek yoğunluklu inşaat,
3. Düzensiz sokakların acil müdahaleyi sınırlaması,
4. Tehlikeli bölgelerde yaşam hattı altyapısının yoğunlaşması.

Bu nedenle kentsel morfoloji, sismik kayıpların çarpanı olarak değerlendirilir. Yer hareketi güçlendiren diğer bir deyişle deprem etkisini büyüten nedenler;

1. Düşük kayma dalgası hızlı topraklar,
2. Alüvyon kalınlığı,
3. Havza kenarı etkileri,
4. Empedans kontrastları

Olarak sıralanabilir.



Görsel 3. Tehlike, maruziyet ve hasargörebilirlik parametrelerine ait görsel tanımlama

Jeofizik çalışmalar kapsamında yapılan; zemin doğal titreşim analizi, SPAC (Uzamsal Otokorelasyon), MASW, mikrogravite ve zemin sondaj çalışmalarına dayanan mikrobölgeleme çalışmaları, planlama kararları için temel girdiler sağlar. Sıvılaşabilen, taşıma gücü düşük, boşluklu, zemin büyütmesi olan bölgeler, yapısal hasar riskini önemli ölçüde artırır. Planlama sırasında bu tür alanlarda aşağıdaki ilksel kararlar alınabilir. Ancak yapılaşma isteği devam ederse ya da zorunluluk doğuyorsa zeminlerde iyileştirme yapılarak yerleşim sağlanabilir. Ancak bu tür zeminlerde; kritik tesisleri kısıtlamak, yapı yoğunluk kontrolü yapmak, soruna uygun zorunlu zemin iyileştirmesi gerçekleştirmek, yeşil bölge tahsisi gibi kavramlar öncelikle ele alınarak uygulanmalıdır. Belki de en önemli temel sorunların başında kent yerleşiminin son yıllarda giderek havza yerleşimi şeklinde gerçekleşmesidir. Genellikle havza yerleşimlerinde varolan sedimanter havzalar sismik dalgaları tutar, daha uzun periyotlu salınımların gerçekleşmesine neden olur, rezonans etkileri daha fazla gözlenir ve buna bağlı mekânsal olarak değişken hasar dağılımı ortaya çıkar. Bu nedenle kentsel planlar, yüzey arazi kullanımıyla birlikte yeraltı geometrisini de dikkate almalıdır.

3. DEPREME DAYANIKLI KENTSEL PLANLAMA ÇERÇEVESİ

Önerilen çerçeve, bilimsel analizi planlama politikasıyla bütünleştirir. Bunları adımlar olarak tanımlayacak olursak;

Adım 1 — Sismik Tehlike Değerlendirmesi

1. Aktif fay haritalama
2. Olasılıksal sismik tehlike analizi (PSHA)

3. Senaryo depremleri

Adım 2 — Kentsel Alan Karakterizasyonu

1. Vs30 hız belirlenmesi
2. Mikrobölgeleme
3. Sıvılaşma başta olmak üzere zemin sorunlarına ait duyarlılık analizleri

Adım 3 — Mekânsal Risk Analizi

1. GIS tabanlı pozuziyet haritalama
2. Bina envanteri analizi
3. Altyapı zayıflık değerlendirmesi

Adım 4 — Entegrasyon Planlaması

1. Risk Bilinçli İmar çalışmaları
2. Yapı yoğunluğu yeniden dağılımı
3. Dayanıklı altyapı tasarımı

Adım 5 — Uyarlanabilir Yönetişim

1. Sürekli izleme
2. Veri odaklı planlama güncellemeleri
3. Topluluk katılımı

4. DEPREM DAYANIKLILIĞI İÇİN PLANLAMA STRATEJİLERİ

Kentsel arazi planlaması sırasında iki farklı durum ele alınır. Yüksek tehlike içeren yerleşimlerde yapı yoğunluğu azaltılır ve açık alanlar artırılır. Orta düzeyde tehlike olması durumunda kontrollü gelişmeye izin verilmelidir. Bu aşamalarda altyapı her zaman dikkatle ele alınmalıdır. Örneğin esnek boru hattı sistemleri kullanılmalı, dağıtık enerji altyapısı oluşturulmalı, köprü, hastane, okul, otel gibi çoklu yaşam binalarında sismik izolasyonlar uygulanmalıdır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, sismik tehlike değerlendirmesini mekânsal planlama stratejileriyle ilişkilendiren entegre bir depreme dirençli kentsel planlama çerçevesi önermektedir. Temel sonuçlar şunlardır:

1. Kentsel planlama kararları, deprem hasar desenlerini önemli ölçüde kontrol eder.
2. Mikrobölgeleme ve saha etkisi analizi, arazi kullanım tahsisini yönlendirmelidir.
3. Dayanıklı kentsel morfoloji, sistemik riski azaltır.
4. Zemin araştırmaları ile planlama arasında disiplinler arası entegrasyon kurulmalıdır.

5. Aktif fay sistemlerinin bulunduğu alanlarda daha çok yeşil alan planlamaları yapılmalıdır.
6. Geniş ve alternatif ulaşım ağları kurulmalıdır.
7. Riskli bina stokları yenilenmelidir.
8. Yeşil alan ve doğal koridorlar arttırılmalıdır.
9. Uyarlanabilir yönetim mekanizmaları uzun vadeli dayanıklılığı mümkün kılar.

Depreme dayanıklı şehirler sadece daha güçlü binalarla değil, bilimsel olarak bilgilendirilmiş kentsel sistemlerle sağlanır.

KAYNAKÇA

1. Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Yılmaz, H. ve Arısoy, M.Ö., *Preliminary Seismic Microzonation of Sivas City (Turkey) Using Microtremor and Refraction Microtremor (ReMi) Measurements*, Journal of Seismology, 17(2), 425–435, 2013.
2. Tekeli, İ., *Türkiye'nin Kent Planlama ve Kent Araştırmaları Tarihi Yazıları*, Tarih Vakfı Yurt Yayınları, İstanbul, 2010.
3. Güzer, C.A., *Bir Kentleşme Sorunu Olarak Deprem: Depremden Öğrenemediklerimiz*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2023.
4. Gerdan, S., *Kentsel Planlama Açısından İl Afet Risk Azaltma Planlarının Değerlendirilmesi*, Gümüşhane Sağlık Bilimleri Dergisi, 10(4), 1006–1012, 2021.
5. AFAD, *Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP)*, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2020.
6. Topal, T., Karahanoğlu, N. ve Süzen, M., *Microzonation of Zeytinburnu Region with Respect to Soil Amplification*, Engineering Geology, 2006.
7. Kolat, Ç., *Developing a Geotechnical Microzonation Model for Yenişehir (Bursa) Settlement Area*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2010.
8. Over, S., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö. ve Filazi, A., *Assessment of Potential Seismic Hazard and Site Effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey*, Environmental Earth Sciences, 62(2), 313–326, 2011.

GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK GERİLİM KARARLILIĞI İÇİN YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİNİN ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYMAZ

Düzce Üniversitesi
eneskaymaz@duzce.edu.tr- 0000-0002-4774-0773

Prof. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi
kenandosoglu@duzce.edu.tr- 0000-0001-8804-7070

ÖZET

Güç sistemleri çeşitli çalışma koşullarında çalışırken bara gerilim değerleri, aktif-reaktif güç dengesi ve güç kayıp değerleri değişmektedir. Çalışma koşullarının korunması ve sistemin belirli sınırlar içerisinde değişimlerden çok etkilenmemesi için statik gerilim kararlılığı analizleri yapılmaktadır. Statik gerilim kararlılığının iyileşmesi için çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada çok baralı güç sisteminde statik gerilim kararlılığının iyileştirilmesi için Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) sisteminin kullanılması amaçlanmıştır. 9 baralı güç sisteminde yapılan çalışmada Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır. İki senaryo şeklinde sistemdeki statik gerilim kararlılığı analizi incelenmiştir. Sistemde HVDC olmadığı durumdaki maksimum yüklenme parametresi değişimi ve 7 ile 8 numaralı iletim hatları arasında bağlanan HVDC sisteminin olduğu durumdaki maksimum yüklenme parametresi değişimleri detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 9 baralı güç sisteminde kullanılan HVDC sistemi ile sistemin statik gerilim kararlılığında azalma görülürken, yük barası gerilim profillerinde de düşmelerin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Statik gerilim kararlılığı, Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC), bara gerilim profilleri, PSAT.

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektrik şirketleri arasında geniş ilgi gören sorunlardan biri de gerilim kararlılığı problemleridir. Yeni üretim ve iletim tesislerinin eksikliği ve artan yük talebine bağlı olarak mevcut tesislerin aşırı kullanımı gibi çeşitli çalışma koşullarında bu tür sorunların günümüz elektrik sistemlerinde daha sık meydana gelen problemler olarak karşımıza çıkmaktadır [1-3]. Bu problemlerin çözülmesinde gerilim kararlılığı analizlerinde farklı yöntemler literatürde kullanılmaktadır. Statik ve dinamik yükler bara gerilimini ve yüklenme parametresi üzerinde etki oluşturmaktadır. Farklı olarak literatürde kullanılan bu yük modellerin gerilim kararlılığı ve bara gerilim profilleri üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler detaylı olarak ilgili çalışmalarda irdelenmiştir [4,5]. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığını etkilen birçok unsur bulunmaktadır. Etki eden bu unsurların gerilim kararlılığında yük barası gerilimi ve çalışma koşullarında farklı etkiler oluşturduğu görülmektedir [6]. Referans 6'da gösterilen unsurların dışında güç

sistemlerinde kullanılan transformatörlerinde gerilim kararlılığı üzerinde etkileri bulunmaktadır. Özellikle 3 sargılı transformatör, transformatördeki kademe değiştirme oranları ve transformatördeki açılı değişimleri direk olarak yük barası gerilimleri ve sistemin yüklenme parametresi üzerinde sistemin çalışma koşullarını değiştirmektedir [7-9]. Çok makinalı güç sistemlerinde gerilim kararlılığı analizlerinde sürekli yük akışı yöntemi tercih edilmektedir. Benzetim çalışması performansının artırılması ve bara çalışma limitlerin daha belirgin olması için sürekli yük akışı yöntemlerinde iyileştirmeler yapılmaktadır. Geliştirilen sürekli yük akışı yöntemleri ile sistemin kararlı durumlar için gerilim kararlılık sınırına kadar uzanan bir güç akışı çözümleri yapılmakta olup, kritik noktada ve çevresinde iyi yakınsama durumları ortaya çıkarılmaktadır [10,11]. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığının iyileştirilmesi ve yük barası gerilim profillerinin iyileştirilmesinde kullanılan bir diğer yöntem de güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemleridir. Bu kompanzasyon sistemleri sayesinde farklı güç sisteminde bara gerilim profilinin ve maksimum yüklenme parametresinde gerilim kararlılığı açısından iyileşmeler olmaktadır [12-15].

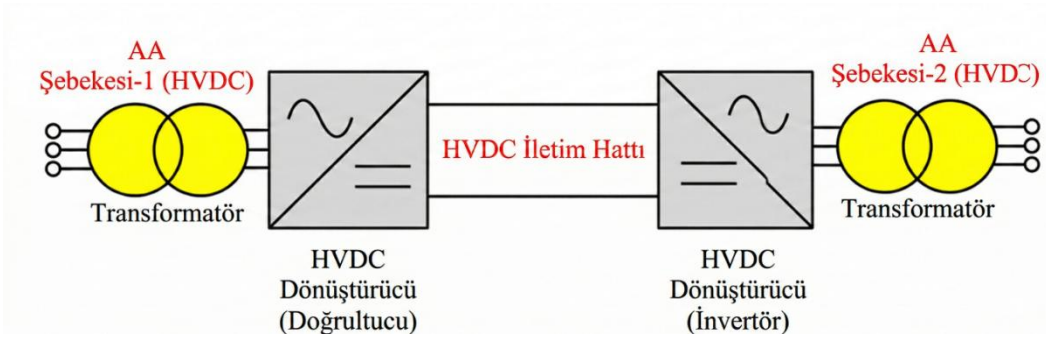
Yapılan bu çalışmada IEEE 9 baralı güç sisteminde sistemin statik gerilim kararlılığı analizi Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) sistemlerinin kullanılması ile incelenmesi amaçlanmaktadır. HVDC sisteminin birçok güç sistemi analizinde etkili bir şekilde kullanıldığı görüldüğünden dolayı, bu çalışmada statik gerilim kararlılığı üzerindeki tepkisi bu çalışmanın farklılığının ortaya konulması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmada HVDC sisteminin kullanıldığı durumda sistemde bara gerilim profillerinin azaldığı ve sistem maksimum yüklenme parametre değerinde düşüş olduğu görülmüştür.

2. STATİK GERİLİM KARARLILIĞI

Güç sistemlerinde reaktif güç değişimine bağlı olarak statik gerilim kararlılığı analizleri yapılmaktadır. Güç sisteminde uygun reaktif güç değerinin hesaplanması ile yük barası gerilimleri çalışma koşullarına göre belirlenmektedir. Tüketicilerin talep ettiği reaktif güç değeri istenen düzeyde olmadığı zaman yük barası gerilimi azalacaktır. Yük barasındaki gerilim azalması gerilim çökmesine neden olacaktır. Gerilim çökmesi probleminin ortadan kaldırılması için yeterli düzeyde güç ayarlanması yapılması gerekmektedir. Statik gerilim kararlılığının basit tanımlanması ise gerilim ile maksimum yüklenme parametresi arasındaki istenen düzeyde yapılan ilişki şeklinde özetlenmektedir. Bu ilişkinin hesaplama yönteminde sürekli yük akışı kullanılmaktadır [16].

3. YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİ

Alternatif Akım (AA) şebekeleri ile Doğru Akım (DA) şebekeleri arasında kullanılan HVDC sistemleri güç elektroniği eviricilerden oluşmaktadır. Elektrik gücünü DA olarak ileten HVDC sistemleri, elektrik enerjisi üretiminde yükseltici transformatörler sayesinde gerilim yükseltilerek uzak mesafelerdeki iletimin sağlanmasında kullanılmaktadır. HVDC sistemlerinin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. HVDC sistemlerinin iletim hatlarında kullanım şeması Görsel 1’de gösterilmiştir.

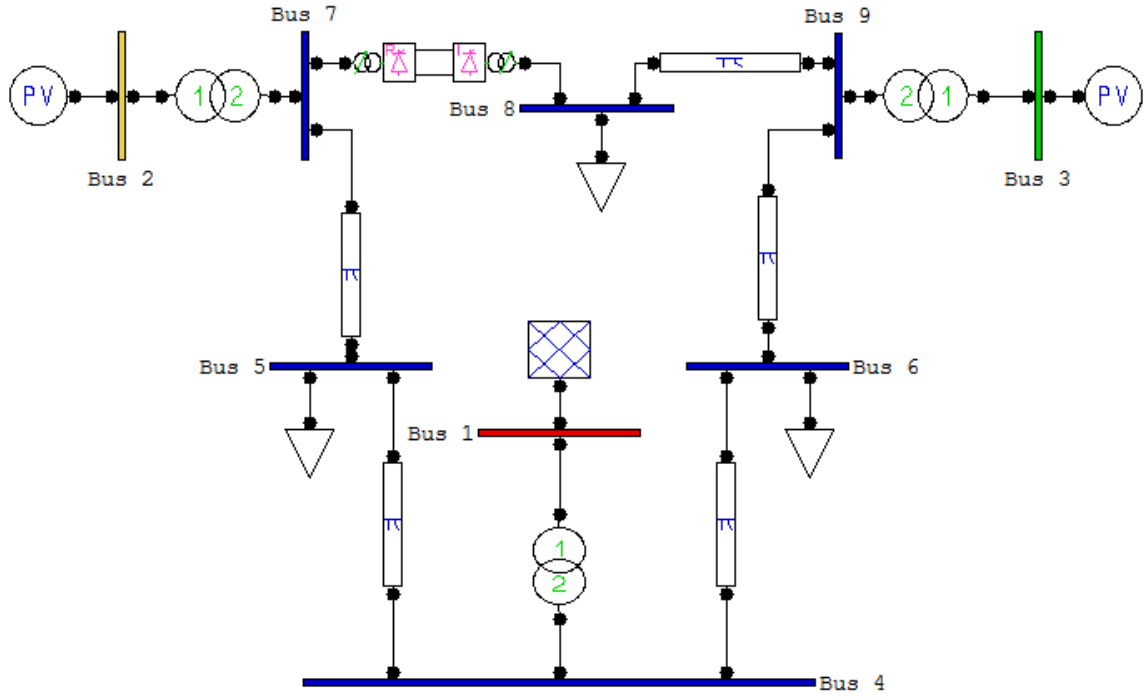


Görsel 1. HVDC sistemlerinin iletim hatlarında kullanım şeması

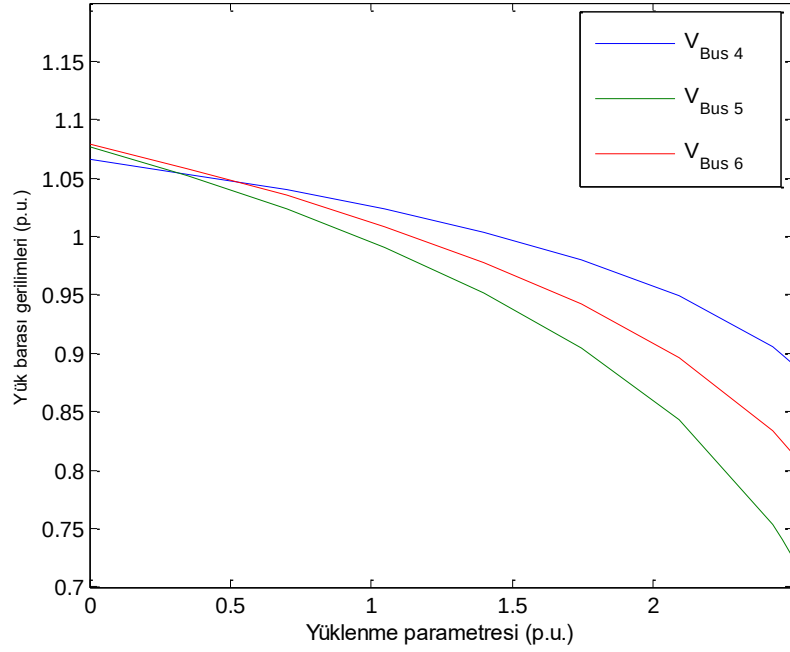
HVDC sistemlerinin iletim hatlarında kullanımında öncelikle şekil 1’de görüldüğü gibi transformatör çıkışında yükseltile AA gerilimi evirici devresi sayesinde DA’a dönüştürülmektedir. HVDC sistemi sayesinde uzak mesafelerde iletim DA ile yapılmaktadır. Daha sonra kullanılacağı yerleşim merkezlerindeki transformatör indirim merkezinde DA gerilimi AA gerilime dönüştürülmektedir. AA gerilim ile dağıtım mertebesinde iletim sağlanmaktadır [17-20].

4. BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

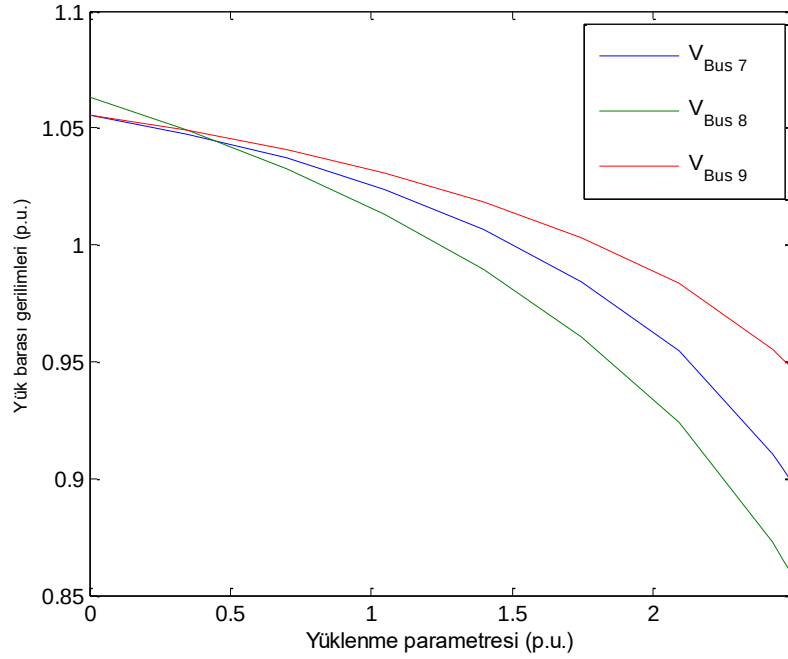
Bu çalışmada IEEE 9 baralı sistemi tercih edilmiştir [21]. 9 baralı güç sistemi Görsel 2’de verilmiştir. Bu sistemde 1 adet salınım barası, 2 adet generatör barası ve 9 adet yük barası kullanılmıştır. Bunun yanı sıra sistemde 3 adet transformatör ve 6 adet iletim hattı kullanılmaktadır. Sistemde 7 ile 8 numaralı baralar arasındaki iletim hattı çıkarılmıştır. Bunun yerine Görsel 2’de görüldüğü gibi HVDC sistemi entegre edilmiştir. Öncelikle sistemde HVDC olmadığı zamanki sürekli yük akışı analizi yapılmıştır. Sürekli yük akışı analizinde sistemin maksimum yüklenme parametre değeri ve bara gerilim profilleri hesaplanmıştır. İkinci olarak 7 ile 8 numaralı iletim hattının yerine kullanılan HVDC sistem ile sürekli yük akışı analizi PSAT’da yapılmıştır. HVDC’nin sistemde olduğu durumdaki sistemin maksimum yüklenme parametre değeri ve bara gerilim profilleri hesaplanmıştır. Bu iki analiz sonucunda elde edilen değerler yorumlanmıştır. İlk analizde sistemde HVDC sistemi olmadığı durumdaki sonuçlar incelenmiştir. İlk analizdeki sonuçlar Görsel 3 ile Görsel 5 arasında gösterilmiştir.



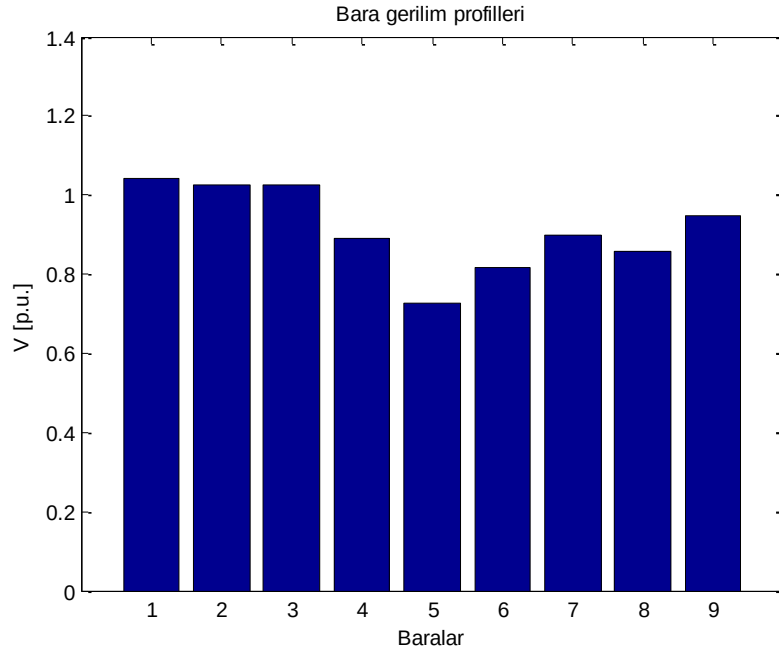
Görsel 2. 9 baralı test sistemi



Görsel 3. HVDC olmadığı durumdaki 4, 5 ve 6 numaralı yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi



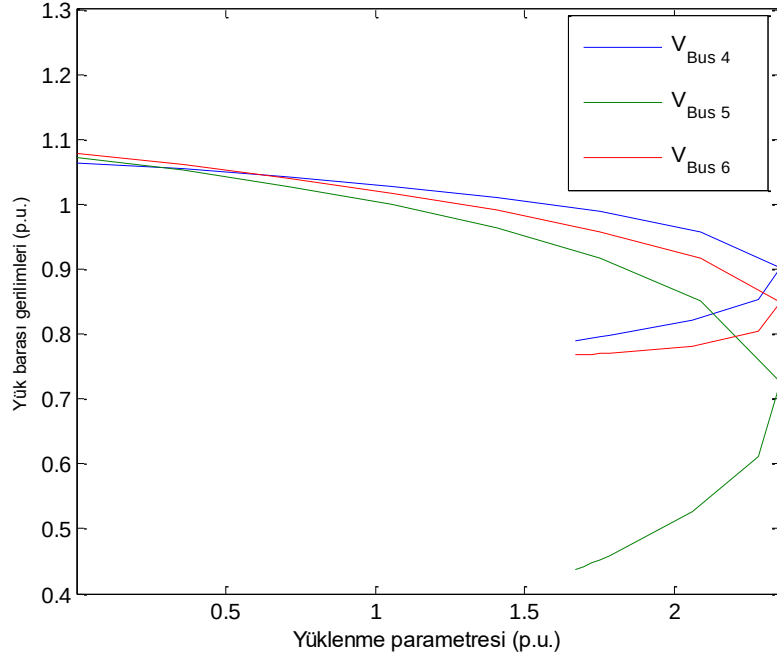
Görsel 4. HVDC olmadığı durumdaki 7, 8 ve 9 numaralı yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi



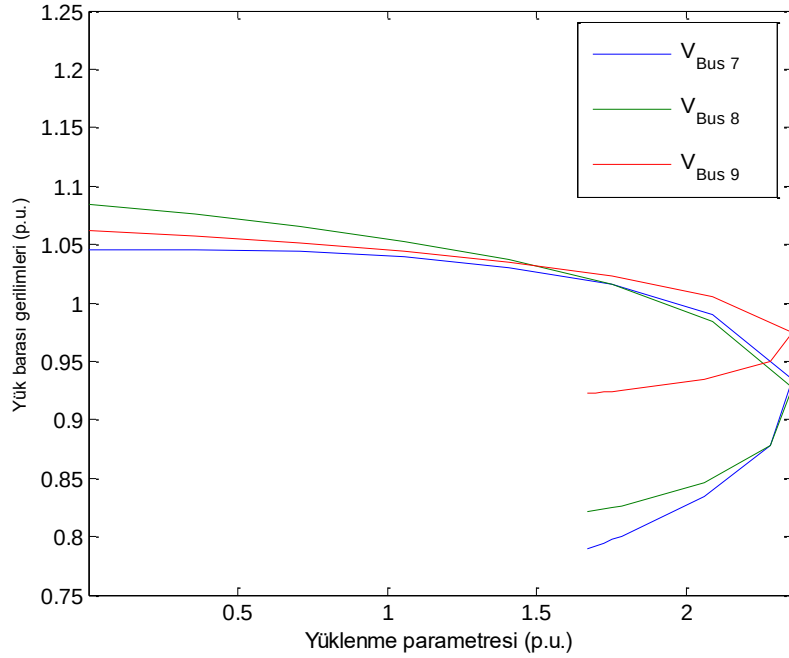
Görsel 5. HVDC olmadığı durumdaki bara gerilim profilleri

Görsel 3, Görsel 4 ve Görsel 5’te sırasıyla IEEE 9 baralı güç sisteminde HVDC olmadığı durumdaki yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi ve bara gerilim profilleri detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde sistemin maksimum yüklenme parametre değeri 2.4933 olarak elde edilmiştir. Sürekli yük akışı analizde bara gerilim profillerinde en düşük bara geriliminin 5 numaralı bara olduğu tespit edilmiştir.

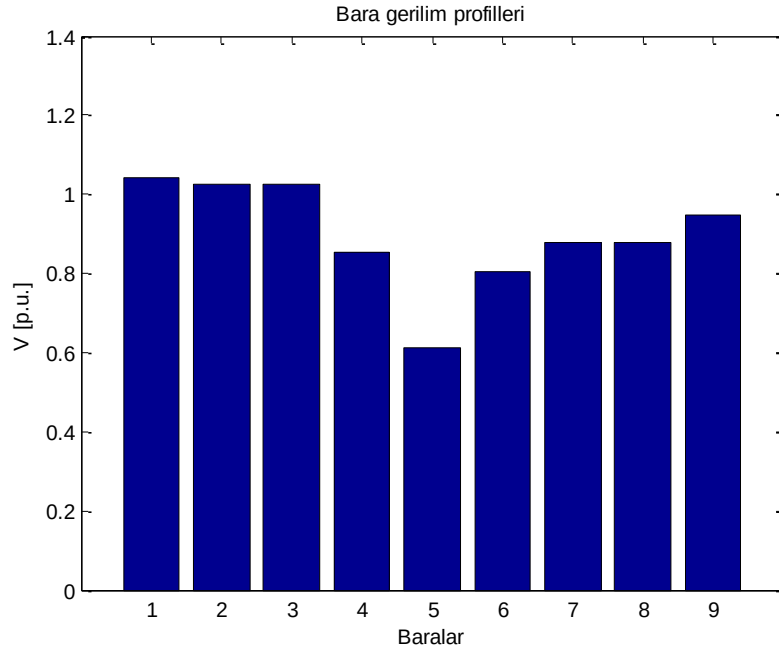
IEEE 9 baralı güç sisteminde 7 ile 8 numaralı baralar arasına yerleştirilen HVDC sistemi ile PSAT’da sürekli yük akışı analizi yapılmıştır. HVDC’nin sistemde kullanıldığı durumdaki yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi ve bara gerilim profilleri Görsel 6 ile Görsel 8 arasında gösterilmiştir.



Görsel 6. HVDC’nin sistemde olduğu durumdaki 4, 5 ve 6 numaralı yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi



Görsel 7. HVDC’nin sistemde olduğu durumdaki 7, 8 ve 9 numaralı yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi



Görsel 8. HVDC'nin sistemde olduğu durumdaki bara gerilim profilleri

IEEE 9 baralı güç sisteminde HVDC'nin sistemde olduğu durumdaki yük barası gerilimi-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi ve bara gerilim profilleri sırasıyla şekil 3, şekil 4 ve şekil 5'de detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde HVDC'nin kullanılmadı ile sistemin maksimum yüklenme parametre değeri 2.3497 olarak elde edilmiştir. HVDC'nin kullanılması ile yapılan sürekli yük akışı analizinde bara gerilim profillerinde en düşük bara geriliminin yine 5 numaralı bara olduğu tespit edilmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çok baralı güç sistemlerinde statik gerilim kararlılığı analizinde HVDC'nin etkileri detaylı olarak incelenmiştir. HVDC'nin IEEE 9 baralı güç sisteminde kullanılmadığı ve kullanıldığı durumdaki maksimum yüklenme parametre değeri-yük baraları gerilim profilleri yorumlanmıştır. Genel olarak HVDC'nin DA gerilimde iletim hatlarındaki güç transferinde kayıpları azaltma durumları literatürde kabul görmüş olmasına rağmen, bu çalışmada statik gerilim kararlılığında sistemin maksimum yüklenme parametresinin azalmasına sebep olmuştur. Bunun yanı sıra yük barası gerilim profillerinde de HDVC sistemleri ile sürekli yük akışı sonucunda azalmalar olmuştur. HVDC'nin güç sistemlerinde gerilim kararlılığını analizlerinde kullanıldığı durumda yüklenme parametresinin arttırmak için ek donanımlara ihtiyaç olduğu bu çalışmada ortaya çıkmaktadır. Ek donanımlar olarak güç elektroniği tabanlı FACTS cihazları tercih edilmesi ile HVDC sistemlerinin birlikte farklı test sistemlerinde kullanılabilmesi durumları bundan sonra yapılacak olacak çalışmalara zemin hazırlayabilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Gao, B., Morison, G. K., & Kundur, P. (1996). Towards the development of a systematic approach for voltage stability assessment of large-scale power systems. *IEEE transactions on power systems*, 11(3), 1314-1324.
2. Nagao, T., Tanaka, K., & Takenaka, K. (2002). Development of static and simulation programs for voltage stability studies of bulk power system. *IEEE transactions on power systems*, 12(1), 273-281.
3. Sode-Yome, A., Mithulananthan, N., & Lee, K. Y. (2006). A maximum loading margin method for static voltage stability in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(2), 799-808.
4. Vournas, C. D., & Krassas, N. D. (1993, May). Voltage stability as affected by static load characteristics. In *IEE Proceedings C (Generation, Transmission and Distribution)* (Vol. 140, No. 3, pp. 221-228). IEE.
5. Borghetti, A., Caldon, R., Mari, A., & Nucci, C. A. (2002). On dynamic load models for voltage stability studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12(1), 293-303.
6. Öztürk A., *Güç sistemlerindeki gerilim kararlılığının genetik algoritma ile incelenmesi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
7. Döşoğlu, M. K., Güvenç, U., Duman, S., & Dursun, M.). *Sargılı Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, 3. Anadolu Enerji Sempozyumu, 292-298, Muğla, Türkiye, 2015
8. Döşoğlu, K., & Uğur Doğan, M. (2019). Gerilim-Reaktif Güç Kontrol Modelli Kademe Değiştirici Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkisi. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 7(3), 1378-1393.
9. Döşoğlu, M. K., Tosun, S., Öztürk, A., & Poyraz, G. (2013). Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Statik Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(3), 43-52.
10. Montazeri, M., Pourgharibshahi, H., & Mohammadian, M. *Static voltage stability analysis of IRAN south-east power system using extended CPF method*. In *International Power System Conference*. Tehran, Iran, 2012.
11. Larki, F., Joorabian, M., Kelk, H. M., & Pishvaei, M. *Voltage stability evaluation of the Khouzestan power system in Iran using CPF method and modal analysis*. In *2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference* (pp. 1-5). IEEE, 2010.
12. Kamarposhti, M. A., & Lesani, H. (2011). Effects of STATCOM, TCSC, SSSC and UPFC on static voltage stability. *Electrical Engineering*, 93(1), 33-42.
13. Kamarposhti, M. A., Alinezhad, M., Lesani, H., & Talebi, N. *Comparison of SVC, STATCOM, TCSC, and UPFC controllers for static voltage stability evaluated by continuation power flow method*. In *2008 IEEE Canada Electric Power Conference* (pp. 1-8). IEEE, 2008.
14. Kamarposhti, M. A., & Lesani, H. *Comparison between parallels and series FACTS devices on static voltage stability using MLP index*. In *SPEEDAM 2010* (pp. 257-262). IEEE

15. Sode-Yome, A., Mithulananthan, N., & Lee, K. Y. *Static voltage stability margin enhancement using STATCOM, TCSC and SSSC*. In 2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific (pp. 1-6). IEEE, 2005.
16. Kazemi A. & Badrzadeh B. 2004. Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study Their Limits on Maximum Loadability Point. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 26(8), pp. 619-626.
17. D. Van Hertem, O. Gomis-Bellmunt, and J. Liang, *HVDC grids: for offshore and supergrid of the future*. John Wiley & Sons, 2016.
18. M. Han and A. Gole, Modeling and Simulation of HVDC Transmission. Institution of Engineering and Technology, 2020.
19. M. Benasla, T. Allaoui, M. Brahami, M. Denai, and V. K. Sood, "HVDC links between North Africa and Europe: Impacts and benefits on the dynamic performance of the European system," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 82, pp. 3981-3991, 2018.
20. Erat, A., & Vural, A. M. *Yüksek Gerilim Doğru Akım Güç Şebekelerinin Ara Bağlantıları İçin DA/DA Modüler Çok Seviyeli Dönüştürücüler*, ELOCO 2022, pp. 1-5, 2022.
21. Milano, F. (2005). An open source power system analysis toolbox. IEEE Transactions on Power systems, 20(3), 1199-1206.

ÇBAG TABANLI RÜZGAR ÇİFTLİĞİNDE GATE KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR (GCSC) KULLANILARAK ALT-SENKRON REZONANS DURUMLARININ İNCELENMESİ

Prof. Dr. Mehmet Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği,
kenandosoglu@duzce.edu.tr - 0000-0001-8804-7070

Doç. Dr. Mustafa DURSUN

Düzce Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği,
mustafadursun@duzce.edu.tr - 0000-0001-9952-9358

ÖZET

İletim hatlarında seri kapasitörlerin kullanılmasında Alt-Senkron Rezonans (SSR) durumları meydana gelmektedir. SSR sistemin çalışma koşullarına göre kararsızlık durumunu meydana getirmesinin yanı sıra salınımların da büyümesine sebep olmaktadır. SSR durumlarını ortadan kaldırmak için bu çalışmada Gate Kontrollü Seri Kapasitör (GCSC) kullanılması amaçlanmaktadır. Kullanılan GCSC modeli ile sabit rüzgar hızı ve farklı sabit seri kompanzasyon oranlarında Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)’da bazı parametrelerdeki karşılaştırmalar yapılmıştır. Şebekeye bağlı ÇBAG’da sabit rüzgar hızı 9 m/s olarak belirlenirken, iletim hattındaki seri kapasitör oranları % 35 ve % 45 olarak belirlenmiştir. Parametre karşılaştırmaları için ÇBAG’da aktif güç, elektriksel moment ve DC link gerilimi kullanılmıştır. Analizlerde sistemde GCSC’nin kullanılmadığı durum ve sistemde GCSC’nin kullanıldığı durumlar tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde GCSC modelin GCSC kullanılmadığı duruma göre sistemi daha kısa zaman içerisinde kararlı hale getirdiği görülmüş olup, oluşan salınımların daha hızlıca sönümlendiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SSR, ÇBAG tabanlı rüzgar çiftliği, GCSC, kararlılık, salınım sönümlenmesi

1. GİRİŞ

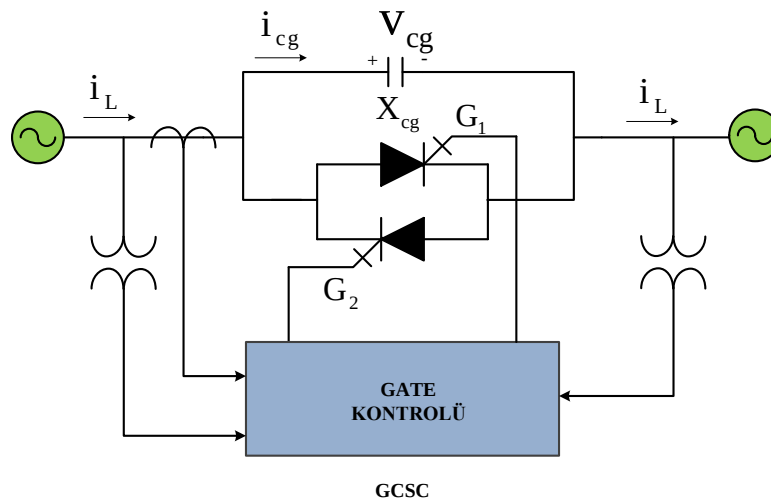
Günümüzde fosil yakıtların azalması ve oluşturmuş olduğu çevre kirliliğinden dolayı dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı popüler olmaktadır. Bunların en popüler olanlarından birisi de rüzgar enerjisidir. Rüzgar çiftlikleri ile şebeke arasındaki mesafenin uzun olmasından dolayı sabit seri kompanzasyon durumu iletilebilir gücü büyütme ve sistem kararlılığını daha çok iyileştirmek için etkili bir yöntem olarak tercih edilmektedir. Ancak bu durumların tüm sistemde salınımların artması ve güvenilirlik üzerinde etkisi olan SSR olgusunun ortaya çıkmasına neden olduğunu söyleyebiliriz [1,2]. ÇBAG’da SSR etkisini azaltmak için farklı metotlar literatürde önerilmektedir. ÇBAG’da kararlılığını artırmak ve asenkron generatör etkisinden oluşabilecek SSR olgusunu kontrol etmek için RSC devresinde farklı 2DOF kontrol stratejisi modelleri tasarlanmıştır. Önerilen 2 DOF kontrol stratejisi sabit seri kompanzasyon oranları ve düşük rüzgar hızlarında farklı çalışma koşullarında test edilmiş

olup, karşılaştırmalar ile değerlendirmeler ilgili çalışmalarda yapılmıştır. [3,4]. SSR’de sistem kararlılığının sağlanması ve salınım sönümlenmesi tercih edilen önemli yöntemlerden birisi de ek sönümleme (SDC) kontrolüdür. ÇBAG’ün RSC ve GSC devrelerinde uygun olan giriş kontrol sinyalinin en uygun seçilmesi ile çeşitli analizler gerçekleştirilmiş olup; converter devrelerindeki optimal yerleşim yerleri tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra SDC tasarımında sistem cevabının iyi olması için uygun filtre tasarımları gerçekleştirilerek istenen durumlar için çeşitli analizler yapılmıştır [5-8]. ÇBAG’da GSC ve RSC devrelerinde SSR durumunda salınımların sönümlenmesinde etkili olan yöntemlerden bazıları da farklı rezonans kontrol ve harmonik kompanzator modelleridir. Her iki modelin evirici devrelerinde sabit seri kompanzasyon oranlarında ve farklı rüzgar hızlarında etkili bir şekilde kullanılabildiği ilgili çalışmalarda test edilmiştir [9-11]. Farklı seri kompanzasyon oranları altında çalışan şebekeye bağlı ÇBAG tabanlı rüzgar çiftliğinde empedans kontrolünün sağlanması SSR durumunda önemli konulardan birisidir. ÇBAG modellemesinde farklı kompanzasyon oranlarının değişken rüzgar hızlarında kontrol etmek için karmaşık vektör yaklaşımı, nyquist kararlılık metodu, frekansa bağlı ve lineer olmayan empedans modelleri ilgili çalışmalarda geliştirilmiştir. Çeşitli çalışma koşulları altında geliştirilen empedans modellerin sistem kararlılığını sağlamada etkili olmasının yanı sıra salınımları hızlı bir şekilde sönümlenmede etkin olduğu görülmektedir [12-15].

Bu çalışmada yeni bir seri FACTS cihazı olan GCSC modellemesinin ÇBAG tabanlı rüzgar çiftliğinde SSR etkileri incelenmiştir. Sabit rüzgar hızı ve farklı seri kompanzasyon oranlarındaki etkileri detaylı olarak ele alınmıştır. Sabit rüzgar hızı 9 m/s olarak kullanılırken, farklı seri kompanzasyon oranları %35 ve %45 olarak kullanılmıştır. Uluslararası Elektrik-Elektronik Mühendisliği (IEEE) test sisteminde gerçekleştirilen çalışmada sistemde GCSC’nin kullanılmadığı durum ve GCSC’nin kullanıldığı durumlar kararlılık ve salınımlar açısından yorumlanmıştır.

2. GATE KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖR (GCSC)

İletim hattına seri olarak bağlanan yeni bir seri FACTS cihazı olan GCSC iletim sisteminin güç kontrolünü ve güç kapasitesini arttırmada kullanılmaktadır. GCSC yüksek güçlü elektronik tabanlı bir cihaz olarak tanımlanmaktadır. Özellikle diyotlar, transistörler, silikon kontrollü doğrultucular ve kapı kapatma tristörleri gibi çeşitli yüksek frekans değerinde çalışan anahtarlama elemanlarından oluşmaktadır. GCSC geleneksel olarak kullanılan anahtarlama elemanlarına nazaran tamamen kontrol edilebilir açma-kapama özelliği bulunmaktadır [16,17]. GCSC yapısı Görsel 1’de gösterilmiştir.



Görsel 1. GCSC yapısı

Görsel 1’de gösterildiği gibi GCSC bir çift Gate Turn-Off thyristors (GTO) ve paralel sabit bir kapasitörden meydana gelmektedir. GCSC yapısında bulunan GTO açık ve kapalı pozisyonuna göre sistemdeki hat akımını kontrol etmektedir. Hat akımına bağlı olarak GCSC devreye girip çıkmaktadır. Özellikle SSR durumlarında iletim hattının empedans düzenlemesi sağlamaktadır. Sistemde GCSC’nin kullanıldığı durumdaki etkin kapasite ifadesi denklem 1’de gösterilmiştir.

$$X_G = \frac{X_{cg}}{\pi} (2\gamma - \sin 2\gamma) = \frac{X_{cg}}{\pi} (\gamma - \sin \gamma) \quad (1)$$

Burada, γ ilerleme açısı, δ tutma açısı, X_{cg} sabit kapasite değeridir. Tutma açısı 0 ile 180 derece arasında olduğunda, X_G 0 ile X_{cg} arasında olmaktadır. Denklem 1'e göre, GCSC'nin sistem içerisindeki etkin reaktansı, sabit kapasiteye eşit olmaktadır.

3. ÇBAG'DA SSR

Bu çalışmada senkron frekanstan daha düşük bir değere sahip olan ve doğal frekans (f_n) olarak bilinen ek bir frekansın kullanılması düşünülmektedir. Bu ek frekans değeri iletim hattı (X_L) kuplaj transformatörü (X_T) ve kompanzasyon kapasitesi (X_C) reaktansa bağlı olarak denklem 3'teki hesaplama yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra denklem 2'deki duruma göre bu doğal frekansa karşılık gelen SSR salınım kayma (S_s) ifadesi denklem 3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$f_n = f_s \sqrt{\frac{X_C}{X_L + X_T}} \quad (2)$$

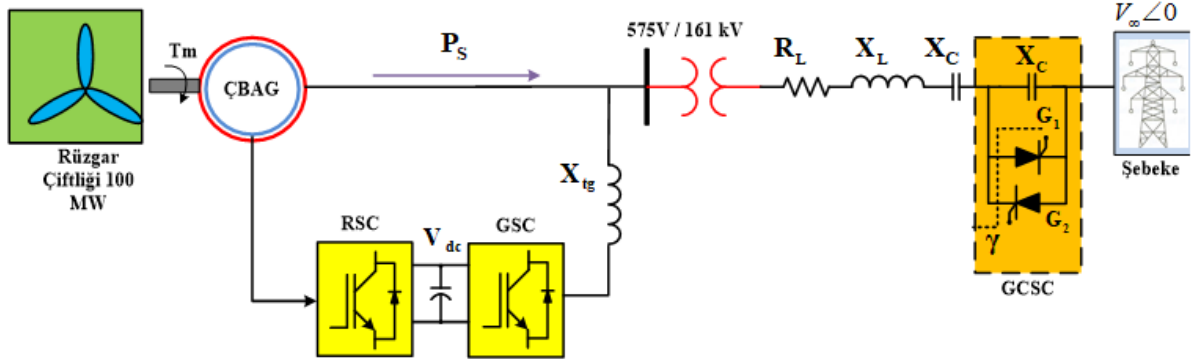
$$S_s = \frac{f_n - f_{em}}{f_n} \quad (3)$$

Denklem 3’te görüldüğü gibi SSR salınım kayma (S_s) ifadesi iki parametrenin etkisi altındadır. Bunlar rüzgâr hızından etkilenen elektrik frekansı (f_{em}) ve kompanzasyon oranından (K) etkilenen doğal frekanstır [9,18]. Elektrik frekansının doğal frekanstan büyük olması durumunda sistemin negatif özelliğe sahip olabileceği görülebilmektedir. Eğer doğal frekans

elektriksel frekanstan büyükse sistem pozitif özellik gösterecektir. Sistemi negatif ve pozitif özelliklerine bağlı olarak kararlılık durum yorumlaması yapılabilmektedir.

4. GÜÇ SİSTEMİ MODELLEMESİ VE BENZETİM SONUÇLARI

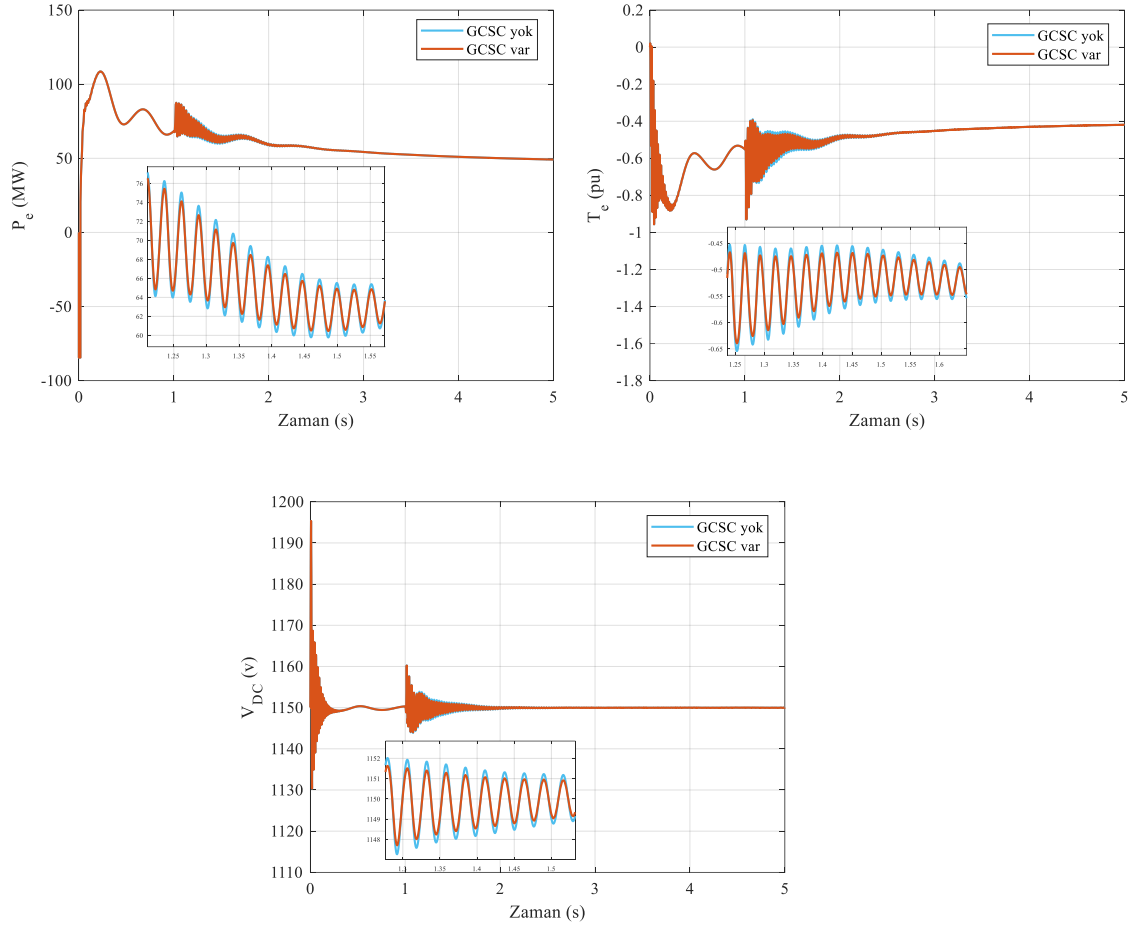
Şebeke bağlı DFIG tabanlı rüzgâr çiftliğinde model olarak IEEE test modeli tercih edilmiştir. MATLAB/SIMULINK programında oluşturulan sistem Görsel 2’de gösterilmiştir.



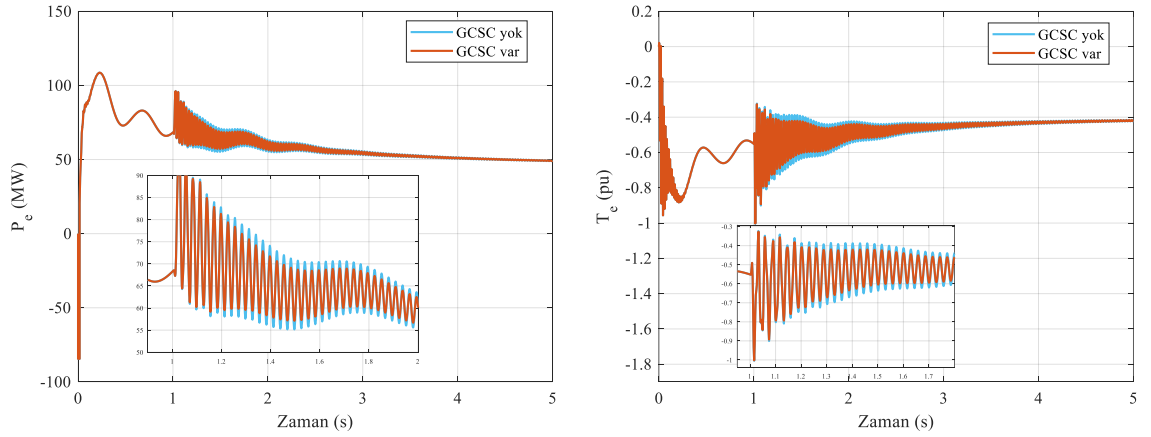
Görsel 2. IEEE test modeli

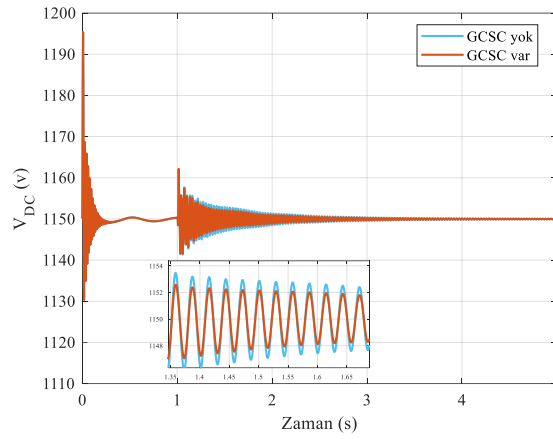
Görsel 2’de gösterilen IEEE test modeli çeşitli SSR çalışmalarında kullanılmıştır [36,37]. Bu sistemde 66 adet 1.5 MW’lık rüzgâr türbini kullanılmaktadır. Test sistemin toplam güç değeri 100 MW olan ÇBAG tabanlı rüzgâr çiftliği, transformatör, seri kompanzasyonlu bir iletim hattı, GCSC ve bir sonsuz baradan oluşmaktadır. ÇBAG çıkış gerilimi 575 V iken, şebeke gerilimi 161 kV’tur. DFIG parametre değerleri ilgili makalelerde verilmiştir [19,20]. Bu sistemde iletim hattında bulunan sabit seri kapasitörün devreye girmesine bağlı olarak SSR durumları detaylıca incelenmiştir.

Bu çalışmada sabit rüzgâr hızında ve farklı seri kompanzasyon oranlarından GCSC’nin kullanılmadığı ve kullanıldığı durumdaki SSR olayları detaylıca incelenmiştir. Sabit rüzgar hızı olarak 9 m/s ve farklı kompanzasyon oranı %35 ve %45 olduğu durumlardaki elde edilen aktif güç, elektriksel moment ve DC link gerilimi karşılaştırmaları Görsel 3 ve Görsel 4’de gösterilmiştir.



Görsel 3. 9 m/s rüzgâr hızı ve %35 kompanzasyon oranı sonuçları





Görsel 4. 9 m/s rüzgar hızı ve %45 kompanzasyon oranı sonuçları

Görsel 3 ve 4 detaylı olarak incelendiğinde DFIG’de 9 m/s rüzgar hızında %35 ve %45 seri kompanzasyon oranlarında sistemde GCSC kullanılmadığı durumda sistemin belli bir süre sonra kararlı hale geldiği ve salınımların zamanla sönümlendiği görülmektedir. Sistemde GCSC kullanıldığı durumda benzer şekilde sistemin kararlı hale geldiği ve salınımların sönümlendiği görülmektedir. Görsel 3 ve 4’te aktif güç, elektriksel moment ve DC link gerilim karşılaştırmaların yakınsama durumları detaylı olarak ele alındığında, GCSC modelin denetleyici kullanılmadığı duruma göre biraz daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun yanı sıra sistemde özellikle sabit seri kompanzasyon oranının artmasında az da olsa sistem parametrelerinde salınımların sıklaştığı görülmektedir. Aktif güç, elektriksel moment ve DC link gerilim değerleri incelendiğinde, rüzgâr hızının 9 m/s ve seri kapasite oranının %35 ve %45 olduğu durumlarda SSR’de sistemde en çok etkilenen parametre elektriksel moment olurken, en az etkilenen parametre DC link gerilimi olmuştur.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada ÇBAG tabanlı rüzgâr türbinlerinde SSR’i azaltmak için GCSC modelin etkisi detaylı olarak incelenmiştir. GCSC model ile ÇBAG’da denetleyici olmadığı durumdaki karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırmalarda sabit rüzgâr hızı ve farklı seri kompanzasyon oranları hesaba katılmıştır. Sistemde denetleyici kullanılmadığı durumda sabit rüzgâr hızı ile farklı seri kompanzasyon oranlarında sistemin belirli bir süre içerisinde kararlı bir hal aldığı ve salınımların daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada GCSC’nin kullanımı ile sistemin daha kısa sürede kararlı hale geldiği ve salınımların biraz daha hızlı bir şekilde sönümlendiği görülmektedir. SSR durumundan aktif güç, elektriksel moment ve DC link gerilimin etkilendiği görülmektedir. Bu çalışmada özellikle düşük seri kompanzasyon oranları için GCSC yapısının uygun olduğu görülmektedir. Yapılan çalışma ÇBAG’daki farklı çalışma koşullarına bağlı olarak SSR analizlerinde şebeke tarafındaki evirici ve rotor tarafındaki evirici devresinde sönümleme kontrol ve rezonans kontrol gibi yeni yaklaşımlarla geliştirilebilecek modellerin GSCS devresinde birlikte kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

1. Padiyar, K. R. (2012). *Analysis of subsynchronous resonance in power systems*. Springer Science & Business Media.
2. Abdeen, M., Li, H., Mohamed, M. A. E. H., Kamel, S., Khan, B., & Chai, Z. Sub-synchronous interaction damping controller for a series-compensated DFIG-based wind farm. *IET Renewable Power Generation*, 16(5), 933-944, 2022.
3. Huang, P. H., El Moursi, M. S., Xiao, W., & Kirtley, J. L. Subsynchronous resonance mitigation for series-compensated DFIG-based wind farm by using two-degree-of-freedom control strategy. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(3), 1442-1454, 2014.
4. Bodapatla, S. K., Sarma, P. M., & Gaddam, M. A Robust UDE-Based 2DOF Controller for Mitigating Sub-Synchronous Control Interaction in Wind Power Plants. *Electric Power Components and Systems*, 52(4), 610-628, 2024.
5. Abdeen, M., El-Banna, S. H. A., Elgohary, S., Mostafa, H., Ghaly, N., Adel, N., & Kamel, S. Adaptive fuzzy supplementary controller for SSR damping in a series-compensated DFIG-based wind farm. *IEEE Access*, 11, 1467-1476, 2022.
6. Abdeen, M., Li, H., Mohamed, M. A. E. H., Kamel, S., Khan, B., & Chai, Z. Sub-synchronous interaction damping controller for a series-compensated DFIG-based wind farm. *IET Renewable Power Generation*, 16(5), 933-944, 2022.
7. Mohammadpour, H. A., & Santi, E. SSR damping controller design and optimal placement in rotor-side and grid-side converters of series-compensated DFIG-based wind farm. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(2), 388-399, 2015.
8. Yao, J., Wang, X., Li, J., Liu, R., & Zhang, H. Sub-synchronous resonance damping control for series-compensated DFIG-based wind farm with improved particle swarm optimization algorithm. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 34(2), 849-859, 2018.
9. Touti, E., Abdeen, M., El-Dabah, M. A., Kraiem, H., Agwa, A. M., Alanazi, A., & Alanazi, T. I. Sub-synchronous oscillation mitigation for series-compensated DFIG-based wind farm using resonant controller. *IEEE Access*, 12, 66185-66195, 2024.
10. Abdeen, M., Al Dawsari, S., El-Dabah, M. A., Ahmed, M. K., Touti, E., Diab, A. A. Z., & Abo El-Magd, A. G. Doubly fed induction generator frequency regulation enhancement using combined inertia and proportional resonant controller. *Processes*, 13(5), 1284, 2025.
11. Islam, S. U., & Kim, S. Comparative analysis of sub-synchronous oscillations with various grid-forming control schemes under series-compensated line. *IEEE Access*, 2024.
12. Zhang, X., Zhang, Y., Fang, R., & Xu, D. Impedance modeling and SSR analysis of DFIG using complex vector theory. *IEEE Access*, 7, 155860-155870, 2019.
13. Miao, Z. Impedance-model-based SSR analysis for type 3 wind generator and series-compensated network. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27(4), 984-991, 2012.

14. Ju, P., Sun, B., Shahidehpour, M., & Pan, X. Impedance modeling and analysis for DFIG-based wind farm in SSO studies. *IEEE Access*, 8, 158380-158390, 2020.
15. Jiang, H., You, J., Liu, H., Ning, W., & Wu, L. Impedance characteristics of DFIGs considering the impacts of DFIG numbers and locations and its application on SSR analysis. In *2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting* (pp. 1-8). IEEE, 2017.
16. N. G. Hingorani and L. Gyugi, *Understanding FACTS*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2000.
17. Mohammadpour, H. A., & Santi, E. Modeling and control of gate-controlled series capacitor interfaced with a DFIG-based wind farm. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(2), 1022-1033, 2014.
18. Abdeen, M., Li, H., Kamel, S., Khaled, A., El-Dabah, M., Kharrich, M., & Sindi, H. F. A recent analytical approach for analysis of sub-synchronous resonance in doubly-fed induction generator-based wind farm. *IEEE Access*, 9, 68888-68897, 2021.
19. Li, H., Abdeen, M., Chai, Z., Kamel, S., Xie, X., Hu, Y., & Wang, K. An improved fast detection method on subsynchronous resonance in a wind power system with a series compensated transmission line. *IEEE Access*, 7, 61512-61522, 2019.
20. Abdeen, M., Li, H., & Jing, L. Improved subsynchronous oscillation detection method in a DFIG-based wind farm interfaced with a series-compensated network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 119, 105930, 2020.

TEDARİK ZİNCİRİ RİSK ANALİTİĞİ: ENERJİ SEKTÖRÜNDE ÇOK BOYUTLU BİR UYGULAMA

Ahmet GÜRGAŞIN

Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi,

ahmet.gurgasin@gmail.com - 0000-0003-1954-0253

Bu çalışma, enerji sektöründe trafo üretimi için kritik öneme sahip olan malzemelerin tedarik süreçlerinde karşılaşılan çok boyutlu riskleri analiz etmek amacıyla bütünleşik bir risk değerlendirme çalışması sunmaktadır. Çalışmada kullanılan model, kural tabanlı yöntemler ile nicel veri analitiği yöntemlerini kullanarak operasyonel, finansal, jeopolitik, stratejik bağımlılık ve malzeme niteliği olmak üzere beş farklı sınıf üzerinden oluşturulmuştur. Operasyonel sınıf; kalite, termin performansı, finansal sınıf; fiyat değişim katsayıları, fiyatların etki büyüklüğü ve birim fiyat değişimlerini, jeopolitik sınıf; ülke ve tedarikçiler için jeopolitik risklerin etkisini, stratejik bağımlılık; önem derecesine göre tedarikçi bağımlılığını ve malzeme niteliği ise malzemenin özellik bazlı olarak değerlendirilmesidir. Deneysel çalışmada enerji sektöründe trafo ürünleri üretimi alanında faaliyet gösteren Astor Enerji firmasına ait veri seti kullanılarak model içerisindeki değişkenlerin normalize edilmesi ile hibrit bir risk skoru elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar işletmenin tedarik zinciri risklerini ölçmede tedarikçi portföyü ve malzeme grubu bazında stratejik bir karar destek yapısı elde edilmesini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tedarik zincir risk yönetimi, tedarikçi risk değerlendirmesi, enerji sektörü

1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji ihtiyaçları, küresel enerji dönüşümleri ve şebeke modernizasyonları yatırımlarının artmasıyla birlikte elektrik enerjisinin kontrolü, iletimi ve dağıtımı alanlarında üretim faaliyetlerinde kritik malzemelere olan talep önem kazanmıştır. Hammadde piyasalarında yaşanan fiyat değişimleri, küresel ölçekte artan jeopolitik gerilimler bir araya geldiğinde tedarik zinciri kavramı sadece operasyonel değil aynı zamanda finansal ve stratejik açıdan da kırılgan bir hale gelmektedir. Bu nedenle tedarik zinciri yönetimi sadece lojistik bir işlev olmaktan çıkarak çok boyutlu risklerin bir araya geldiği stratejik bir alan haline gelmektedir.

Literatürde tedarik zinciri riski değerlendirmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Bazı çalışmalar tedarik riskini tanımlarken bazıları ise bir bütün olarak genel tedarik zinciri risk tanımlaması üzerinde durmaktadır. Tedarik zinciri risk türlerinin yer aldığı çalışmalar ise sınırlı sayıdadır [5]. Bu durum, tedarik riskinin çok boyutlu yapısının bütünlük bir yapıda incelenmesini zorlaştırmaktadır. Finansal durum, jeopolitik yapı ve stratejik tedarikçi bağımlılığı gibi boyutların birbirinden bağımsız biçimde değerlendirilmesine neden olmaktadır.

Yapılan bu çalışma, enerji sektöründe trafo ürünleri üretimi alanında çok boyutlu ve bütünlük bir tedarik riski değerlendirme modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen model; kural tabanlı yöntemler ile nicel veri analitiğini bir arada kullanarak operasyonel, finansal, jeopolitik, stratejik bağımlılık ve malzeme niteliği olmak üzere beş temel risk boyutunu bir araya getirmektedir. Deneysel çalışma enerji sektöründe trafo ürünleri üretimi alanında faaliyet gösteren Astor Enerji firmasına ait veri seti üzerinden gerçekleştirilmiş; normalize edilmiş değişkenler aracılığıyla hibrit bir risk skoru elde edilmiştir. Bu yapıyla tedarikçi portföyü ve malzeme grubu bazında stratejik bir karar destek yapısı ortaya konulmuştur.

2. METODOLOJİ

Bu bölümde çalışmanın metodolojik bütünlüğünü destekleyen kavramsal temeller sistematik biçimde ele alınmaktadır. Bu amaçla tedarik zinciri, tedarik zinciri yönetimi ve tedarik zinciri risk yönetimi kavramları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Tedarik Zinciri

Literatürde tedarik zinciri ile ilgili çeşitli tanımlar yer almaktadır. Bunlardan bazıları sırayla verilmiştir.

Tedarik zinciri, nihai tüketiciye ürün ve hizmet biçiminde değer sunmayı amaçlayan çeşitli süreç ve faaliyetleri içeren; ileri ve geri yönlü ilişkilerle birbirine bağlanan örgütlerden oluşan bir yapı olarak değerlendirilebilir [2].

Tedarik zinciri, hammaddelerin tedarik edilmesinden üretim ve montaj süreçlerine, depolama ve stok kontrolünden sipariş yönetimi ve dağıtımına, nihayet ürünün müşteriye ulaştırılmasına kadar uzanan faaliyetlerin bütünü kapsayan bir yapı olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, söz konusu faaliyetlerin etkin biçimde izlenmesi, koordine edilmesi ve yönetilmesi için gerekli bilgi sistemleri de tedarik zincirinin ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır [12].

Tedarik zinciri, malzeme tedarikinin gerçekleştirilmesi, temin edilen girdilerin yarı mamul ya da mamul ürünlere dönüştürülmesi ve bu ürünlerin müşterilere ulaştırılması işlevlerini yerine getiren üretim tesisleri ile dağıtım kanallarından oluşan bir ağ yapısı olarak tanımlanabilir [6].

İyi bir tedarik zincirinin çeşitli özelliklere sahip olması beklenmektedir. Bu özellikler dayanıklılık, güvenilirlik, esneklik, çeviklik, etkinlik ve duyarlılık olarak verilebilmektedir [11].

2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi, malzeme ve ürün akışlarının temel hammadde kaynağından nihai ürüne kadar olan tüm aşamalarda, gerektiğinde geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerini de kapsayacak biçimde yönetilmesini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, işletmelerin tedarikçilerinin süreçlerinden, rekabet avantajı sağlayabilecek teknoloji ve yetkinliklerinden nasıl yararlanabileceklerine odaklanmakta; aynı zamanda geleneksel işletme içi faaliyetleri, optimizasyon ve etkinlik hedefleri doğrultusunda kurulan ticari ortaklıklar aracılığıyla işletme sınırlarının ötesine taşıyan bir yönetim felsefesi olarak tanımlanmaktadır [17].

Başka bir tanıma göre ise tedarik zinciri yönetimi gerek tedarik zincirinin bütününe gerekse zincirde yer alan işletmelerin bireysel olarak uzun dönemli performanslarını geliştirmek amacıyla, geleneksel işletme fonksiyonlarının, belirli bir işletme içindeki işlevler arası taktiklerin ve tedarik zinciri boyunca yürütülen faaliyetlerin sistematik ve stratejik biçimde koordine edilmesini ifade etmektedir [13].

Tedarik zinciri yönetiminin temel amaçları; müşteri tatminini artırmak, çevrim süresini kısaltmak, stok düzeyleri ile stoktan kaynaklanan maliyetleri azaltmak, ürün hatalarını en aza indirmek ve faaliyet maliyetlerini düşürmek şeklinde sıralanabilir. Ancak bu amaçlara ulaşılabilmesi, yalnızca işletme içi süreçlerin iyileştirilmesiyle sınırlı değildir. Aynı zamanda işletmelerin, kendi tedarikçileri ve onların tedarikçileri ile müşterileri ve onların müşterileri arasında, yani tedarik zincirinin tüm halkaları boyunca iletişim ve bilgi paylaşımını güçlendirmesi gerekmektedir. Bilgi ve planların tedarikçiler ve müşterilerle paylaşılması, zincirin genel etkinliğini ve rekabet gücünü artıran önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir [16].

2.3. Tedarik Zinciri Risk Yönetimi

Tedarik zinciri yönetiminin etkinliği, yalnızca süreçlerin koordinasyonu ile değil, bu süreçleri tehdit eden risklerin sistematik biçimde tanımlanması, ölçülmesi ve yönetilmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Tedarik zinciri risk yönetimi, bir tedarik zinciri içerisinde yer alan organizasyonların; iş birliğine dayalı ilişkiler, etkin iş süreçleri ve yüksek düzeyde bilgi paylaşımı uygulamaları aracılığıyla entegre edilmesi ve yönetilmesi sürecini ifade etmektedir. Bu yaklaşımın temel amacı, riskleri en aza indirmek ve tedarik zincirinde ortaya çıkabilecek kesinti olasılığını azaltmaktır [7].

Tedarik zinciri risklerinin etkileri, beklenenin aksine yalnızca doğrudan finansal kayıplarla sınırlı değildir. Kısa ve uzun vadede ortaya çıkan tedarik zinciri kesintileri; ürün kalitesinde düşüş, malzeme, ekipman ve ürünlerde hasar, itibar kaybı ve teslimat süreçlerinde aksamalar gibi çeşitli sonuçlar doğurabilmektedir. Ayrıca, tedarik zincirinin tüm işlevlerinin etkin ve verimli biçimde yürütüldüğü durumlarda dahi çeşitli jeopolitik gelişmeler ile doğal afetler ve salgın hastalıklar gibi dışsal risk unsurları tedarik zincirlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [4].

Tedarik zinciri risk yönetiminin temel amacı, tedarik zincirinin kesintisiz biçimde işlemesini sağlamak; olası bir kesinti durumunda ise sürecin en düşük zararlarla atlatılmasına imkan vermektir. Bu yönüyle tedarik zinciri risk yönetimi, tedarik zincirinin dayanıklılık ve esneklik kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Literatürde bu yaklaşımın temel hedefleri arasında, kurumsal risk stratejisi ile uyumlu bir tedarik zinciri risk yaklaşımının geliştirilmesi, risk yönetiminin tedarik zinciri süreçlerine entegre edilmesi, uygun kaynak ve altyapının oluşturulması, risklere yönelik tepki ve müdahale planlarının hazırlanması ve performansın sürekli izlenerek iyileştirilmesi yer almaktadır [19].

Bu yaklaşımın başlıca yararları ise risklerin erken aşamada fark edilmesi, daha dengeli ve bilinçli kararların alınması, kaynakların daha etkili biçimde önceliklendirilmesi ve olası kesinti anlarında daha hızlı ve planlı müdahale edilmesidir. Ayrıca, risk yönetiminin sistematik biçimde uygulanması; operasyonel sürekliliğin korunmasına, değişkenliğin azaltılmasına, finansal performansın ve müşteri hizmet düzeyinin iyileştirilmesine ve kurumsal öğrenme kapasitesinin güçlenmesine katkı sağlamaktadır [19].

Tedarik zinciri risklerini farklı amaç ve yapılar da sınıflandırmak mümkündür. Literatürde risk sınıflandırması ve türleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yer almaktadır.

Chopra ve ark. (2004) [1], tedarik zinciri risklerini dokuz temel kategori altında sınıflandırmaktadır. Bu kategoriler; bozulmalar, gecikmeler, sistem kaynaklı riskler, tahmin riskleri, entelektüel sermaye riskleri, tedarik riskleri, alacak riski, envanter riski ve kapasite riskidir. Bu sınıflandırma, tedarik zinciri risklerinin yalnızca fiziksel malzeme akışından kaynaklanmadığını; aynı zamanda bilgi sistemleri, karar verme süreçleri, finansal yapı, tedarik bağımlılığı ve operasyonel kapasite gibi çok boyutlu unsurlardan beslendiğini göstermektedir.

Söz konusu yaklaşımda bozulma riskleri, doğal afetler, savaş, terör, iş gücü anlaşmazlıkları, tedarikçi iflası ve tek kaynağa bağımlılık gibi zincirin işleyişini doğrudan kesintiye uğratabilecek olaylarla ilişkilendirilmektedir. Gecikme riskleri ise yüksek kapasite kullanımı, esneklik eksikliği, düşük kalite ve lojistik süreçlerdeki aşırı işlem yükü gibi nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Sistem riskleri, bilgi altyapısının yetersizliği ya da dijital ağların karmaşıklığıyla bağlantılıyken; tahmin riskleri, uzun tedarik süreleri, mevsimsellik, ürün çeşitliliği ve kamçı etkisi gibi nedenlerle talep bilgisinin bozulmasından kaynaklanmaktadır.

Buna ek olarak, entelektüel sermaye riskleri küresel dış kaynak kullanımı ve dikey bütünleşme ile ilişkilendirilirken, tedarik riskleri döviz kuru oynaklığı, tek kaynaktan tedarik ve sözleşme yapıları gibi unsurlarla açıklanmaktadır. Alacak riskleri müşteri sayısı ve müşterilerin finansal gücüyle bağlantılıdır. Envanter riskleri ürünün eskime olasılığı, stok bulundurma maliyeti, ürün değeri ile talep ve arz belirsizliği çerçevesinde değerlendirilirken; kapasite riskleri ise kapasite maliyeti ve kapasite esnekliği ile ilişkilendirilmektedir [1].

Merna ve ark. (1999) [14], stratejik, operasyonel, finansal, bilgi, güvenlik ve çevresel riskleri içeren oldukça geniş bir risk çerçevesi olarak incelemişlerdir.

Michalski (2000) [15] daha çok altyapısal, kontrol, iş değeri ve ilişkisel risklere odaklanmıştır.

Harland ve ark. (2003) [8] stratejik, operasyonel, tedarik, müşteri, itibar ve finansal riskleri ön plana çıkartmışlardır.

Jüttner ve ark. (2003) [10] çevresel, ağ kaynaklı ve organizasyonel riskler üzerinde durmuşlardır.

Christopher ve ark. (2004) [3] riskleri firma içi, firma dışı ancak zincir içi ve çevresel dışsal riskler olarak ele almıştır. Wagner ve ark. (2008) [18] talep yanlı, tedarik yanlı, düzenleyici, altyapısal ve katastrofik riskleri vurgulamışlardır

Waters (2011) [19] fiziksel, finansal, bilgi ve organizasyonel riskleri öne çıkarmıştır. Ho ve ark. (2015) [9] ise makro ve mikro risk ayrımı üzerinden doğal afetler, insan kaynaklı tehditler, talep, üretim, tedarik ve altyapı risklerini birlikte değerlendirmiştir.

3. AMAÇ VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde tedarik zinciri risk analitiğinin gerçekleştirilebilmesi için önerilen tedarik riski değerlendirme modeli hakkında bilgi verilecektir. Önerilen model operasyonel, finansal, jeopolitik, stratejik bağımlılık ve malzeme niteliği olmak üzere beş temel risk boyutunu bir araya getirmektedir.

3.1. Operasyonel Boyut

Operasyonel boyut, tedarikçinin termin performans ve kalite standartlarına uyum yetkinliğini ölçmektedir. Trafo sektöründe bu değişkenlerde meydana gelecek sapmalar üretim hatlarında gecikmelere ve durmalara neden olabilmektedir. Bu boyutta termin performansı sadece ortalama termin performansı ile değil ortalamadan sapmalar bazında incelenmiştir. Bu durum tedarikçinin sadece istenilen termin süresine olan uyumunu değil aynı zamanda ortalama termin süresinden sapmaların belirlenerek bir öngörülebilirlik elde edilmesini sağlamaktadır. Kalite skoru için toplam teslimat içerisinde yer alan hata payının $[0,1]$ aralığında normalize edilmesinin ardından $1-K$ ile hesaplanmaktadır. Burada uygulanan normalizasyon ile düşük kalite için yüksek risk puanı üretilmiştir. Burada her iki değişken için ağırlıklandırma katsayısı eşit olarak seçilmiştir.

Operasyonel boyuta ilişkin matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$P_{Opr} = 0,50 \sigma_{Gün} + 0,50(1 - K)$$

$\sigma_{Gün}$: Termin performansı için standart sapma

K : Kalite skoru

$\square$: Değişkenlerin normalize edilmiş biçimi

3.2. Finansal Boyut

Finansal boyut, tedarik edilen malzemelerin belirlenen tarihsel durum içerisindeki fiyat istikrarını incelemektedir. Özellikle hammadde fiyatlarının küresel piyasalarda yaşadığı değişimin oluşturacağı belirsizlik bu boyut içerisinde incelenmektedir. Üç aşamada hesaplanmaktadır.

İlk olarak fiyat volatilitesi ile fiyatın zaman içerisindeki oynaklığı ölçülmektedir. Burada farklı birimler yer alacağından dolayı değişim katsayısı kullanılmıştır. İkinci aşamada tedarikçi ve malzemeye olan riskin finansal etkisinin ölçülmesi gerçekleştirilir. Alım tutarının uç değerlerden etkisini azaltmak amacıyla logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Son olarak ise birim fiyat kayması hesaplanmaktadır. Fiyatın sadece oynaklığı değil stratejik yönünü de ölçmektedir. Ağırlıklı ortalama ile fiyat değişiminde yer alan pozitif artışlar risk olarak değerlendirilir. Modelde değişkenler için ağırlıklandırma katsayısı eşit olarak alınmıştır.

Finansal boyuta ilişkin matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$P_{Fin} = (1/3) CV_i + (1/3) \ln(S_i) + (1/3) D_i$$

CV_i : Fiyat volatilitesi

S_i : Harcama büyüklüğü

D_i : Birim fiyat kayma oranı

$\square$: Değişkenlerin normalize edilmiş biçimi

$$CV : CV_i = \frac{\sigma_{p,i}}{\mu_{p,i}}$$

$\sigma_{p,i}$: Fiyata ilişkin standart sapma

$\mu_{p,i}$: İlgili dönemdeki ortalama birim fiyat

$$S_i : \ln\left(\sum_{j=1}^n Tutar_{i,j}\right)$$

$$D_i : \Delta P_{i,t} = \max\left(0, \frac{\bar{P}_{i,t} - \bar{P}_{i,t-1}}{\bar{P}_{i,t-1}}\right)$$

$\bar{P}_{i,t}$: Cari yılın birim fiyatı

$\bar{P}_{i,t-1}$: Bir önceki yılın birim fiyatı

3.3. Jeopolitik Boyut

Bu boyut, tedarikçinin yerleşik olduğu ülkenin makro-ekonomik, sosyal ve hukuki istikrarını bütünleşik bir endeks üzerinden ölçmektedir. Sabit bir değer yerine her yıl değişen birleşik ülke risk endeksi ile modele dahil edilmektedir. OECD Ülke Risk Sınıflandırılması, Kırılgan Devlet Endeksi ve Yaptırım Maruziyetine ilişkin veriler kullanılarak iki aşamalı bir normalizasyon ve ağırlıklandırma ile hesaplanmaktadır.

Jeopolitik boyuta ilişkin matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$P_{Jeo} = \frac{R_i - \min(R_i)}{\max(R) - \min(R)}$$

R_i : Birleşik ülke risk endeksi

$\square$: Değişkenlerin normalize edilmiş biçimi

3.4. Stratejik Bağımlılık Boyutu

Bu boyut, kaynak bağımlılığı teorisi temelinde bir malzemenin ikame edilebilirliğini ve tedarik pazarındaki yoğunlaşmayı ölçer. Modele malzemenin portföydeki stratejik durumu ile ağırlıklandırılarak eklenir. Ağırlıklandırma malzemenin Kraljic matrisinde yer alan stratejik, kritik, kaldıraç ve rutin değişkenleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Değişkenler için uygulanan ağırlıklar sırasıyla 2,0; 1,5; 1,5 ve 1,0 olarak alınmaktadır.

Stratejik bağımlılık boyuta ilişkin matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$P_{Str} = \frac{D_{w,i} - \min(D_w)}{\max(D_w) - \min(D_w)}$$

$D_{r,i} : \frac{1}{n_i}$, *Bağımlılık oranı*

$D_w : D_{r,i} \times M_{sc,i}$, *Ağırlıklı bağımlılık skoru*

$M_{sc,i}$: *Kraljic matris çarpanı*

3.5. Malzeme Niteliği Boyutu

Malzeme niteliği boyutu, malzemenin işletme içerisinde belirlenen önemi ve teknik özelliklerini baz alır. Malzeme niteliği malzemenin teknik sınıfı (A, B, C) ve malzemenin özel malzeme standartlarında olması durumuna göre belirlenmektedir. Malzeme niteliği model içerisine iki temel gösterge ile eklenmektedir. A, B, C sınıflandırması için sırasıyla 1,0; 0,6 ve 0,3 puan olarak hesaplanmaktadır. Malzemenin özel malzeme statüsünde olması durumunda ise ek olarak 0,5 puan eklenmesi yapılmaktadır.

Malzeme niteliği boyutuna ilişkin matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$P_{Mlz} = \frac{(B_i + S_i) - \min(B + S)}{\max(B + S) - \min(B + S)}$$

B_i : *ilgili malzeme için teknik sınıf*

S_i : *ilgili malzeme için özel malzeme standardı*

3.6. Risk Skoru

Tedarik zinciri risk analitiği için beş farklı boyutta elde edilen değerler {tedarikçi x malzeme} tedarik zinciri risk skorunun hesaplamasında kullanılmaktadır. Elde edilen skor bir malzeme grubu için hem tedarikçi hem de malzemeye ilişkin risklerin etkilerini ortaya koymakta ve tedarik zinciri için bir risk skoru elde edilmektedir.

Elde edilen matematiksel model aşağıda yer almaktadır.

$$R_{Toplam} = (P_{Opr} w_1) + (P_{Fin} w_2) + (P_{Jeo} w_3) + (P_{Str} w_4) + (P_{Mlz} w_5)$$

P_i : *boyutlar (değişkenler)*

w_i : *ağırlıklar*

Elde edilen model için ağırlıklar işletme ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmiş olup sırasıyla 0,35; 0,10; 0,20; 0,25; 0,10 şeklinde modele dahil edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, enerji sektöründe trafo üretimi odağında tedarik zinciri risklerinin çok boyutlu ve bütünsel bir analitik yapı içinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen model operasyonel, finansal, jeopolitik, stratejik bağımlılık ve malzeme niteliği boyutlarını normalize edilmiş değişkenler aracılığıyla tek bir hibrit risk skoruna dönüştürerek tedarikçi portföyü ve malzeme grubu bazında ölçülebilir bir karar destek altyapısı ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, söz konusu yapının tedarik zinciri risk analitiğinde stratejik bir değer ürettiğini ve risk skorlarının hem tedarikçi seçimi hem de önceliklendirme süreçlerinde nesnel bir kriter olarak kullanılabilirliğini doğrulamaktadır.

Modelin ürettiği risk skorları aynı zamanda ilerleyen araştırmalar için sağlam bir analitik zemin niteliği taşımaktadır. Burada amaçlanan durum modelin sonuçlarının denetimli makine öğrenimi yöntemleri için kullanılmasıdır. Geçmiş tedarik verilerinden elde edilen etiketlenmiş risk skorları, yeni bir sipariş oluşturma aşamasında ilgili tedarikçi ve malzeme grubu için tahmini risk skorunun hesaplanmasına olanak tanıyacaktır. Bu sayede model geriye dönük bir değerlendirme aracından ileriye dönük bir tahmin sistemine evrilecektir.

KANYAKLAR

- [1] Chopra, S., and Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply chain breakdown. MIT Sloan Management Review, 46(1), 53–61.
- [2] Christopher, M. (2011). Logistics and supply chain management (4th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
- [3] Christopher, M., and Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. The International Journal of Logistics Management, 15(2), 1–14.
- [4] Erdal, H. (2017). Tarihsel tecrübeler ışığında tedarik zinciri risk yönetiminin önemi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 50, 121–139.
- [5] Erdal, H. (2018). Tedarik zinciri risk yönetimi: Kavramsal çerçeve ve tedarik yönlü bir literatür araştırması [Supply chain risk management: Conceptual framework and a supply-side literature review]. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(4), 764–796. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.50102>
- [6] Ganeshan, R., and Harrison, T. P. (1995). An introduction to supply chain management. Pennsylvania State University, Department of Management Science and Information Systems.
- [7] Handfield, R. B., Blackhurst, J., Elkins, D., and Craighead, C. W. (2008). A framework for reducing the impact of disruptions to the supply chain: Observations from multiple executives. In R. B. Handfield and K. McCormack (Eds.), Supply chain risk management: Minimizing disruptions in global sourcing (pp. 51–56). New York: Auerbach Publications.
- [8] Harland, C., Brenchley, R., and Walker, H. (2003). Risk in supply networks. Journal of Purchasing and Supply Management, 9(2), 51–62.
- [9] Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., and Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: A literature review. International Journal of Production Research, 53(16), 5031–5069.
- [10] Jüttner, U., Peck, H., and Christopher, M. (2003). Supply chain risk management: Outlining an agenda for future research. International Journal of Logistics: Research and Applications, 6(4), 197–210.
- [11] Kırılmaz, O. (2014). Tedarik zinciri şebekesinde risk yönetimi: Otomotiv endüstrisinde bir uygulama (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Lummus, R. R., and Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management: A historical perspective and practical guidelines. Industrial Management and Data Systems, 99(1), 11–17.

- [13] Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., and Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25.
- [14] Merna, A., and Smith, N. J. (1999). Privately financed infrastructure in the 21st century. *Civil Engineering*, 132(4), 166–173.
- [15] Michalski, L. (2000). How to identify vendor risk. *Pharmaceutical Technology*, 24(10), 180–184.
- [16] Nevşehirli, E. E. (2007). Tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi değerlendirmesi ve ayakkabı sektöründe bir uygulama (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Tan, K. C., Kannan, V. R., and Handfield, R. B. (1998). Supply chain management: Supplier performance and firm performance. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 34(3), 2–9.
- [18] Wagner, S. M., and Bode, C. (2008). An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk. *Journal of Business Logistics*, 29(1), 307–325.
- [19] Waters, D. (2011). *Supply chain risk management: Vulnerability and resilience in logistics*. London: Kogan Page Publishers.

VERİ YÖNETİŞİMİ VE UYGULAMALARI: KAVRAMSAL ÇERÇEVEDEN ENERJİ SEKTÖRÜNDE DEĞER ÜRETİMİNE

Ahmet GÜRGASIN

Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi,

ahmet.gurgasin@gmail.com - 0000-0003-1954-0253

Günümüzde veri işletmeler için giderek artan önemiyle stratejik birer varlık haline gelmiştir. Bunun yanı sıra pek çok işletme verilerini teknik olarak depolayabilmekte ancak veriden sürdürülebilir değer üretimini sağlayacak gerekli yönetim olgunluğuna ulaşamamaktadır. Bu çalışma veri yönetişimi ile veri mimarileri arasındaki bu boşluğa odaklanmaktadır.

Çalışmada veri yönetişimi; karar hakları, metadata, veri kalitesi, standardizasyonu ve yaşam döngüsü yönetimi ekseninde ele alınmaktadır. Data Mesh ve Data Vault 2.0 yaklaşımları ise dağıtık sahiplik/federatif yönetim ve çevik/izlenebilir entegrasyon mimarileri olarak incelenmektedir. Sistematik literatür taraması ve enerji sektörü için trafo üretiminde yer alan işletme verileri birleştirilerek güvenilir bir veri kaynağı içerisinde stratejik varlıklar olarak nasıl yönetileceği ile ilgili kavramsal bir model önerilmektedir.

Bulgular, veri yönetişiminin modern veri mimarilerinin kurumsal ölçekte etkinliğini sağlayan temel yapı olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek mühendislik yapısı ve süreçlerine sahip olan trafo üretiminde veri standardizasyonu, birleştirilmiş veri varlıkları ve izlenebilir entegrasyon yaklaşımının stratejik değer üretiminde belirleyici olduğu ortaya konmaktadır. Çalışma enerji sektöründe faaliyet gösteren Astor Enerji firması için somutlaştırılmıştır. Model, benzer üretim işletmeleri için de bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Veri yönetişimi, veri kalitesi, veri olgunluğu, data mesh

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 ile üretim sektörü verilerin her geçen gün daha yoğun kullanıldığı bir sistem haline gelmektedir. Farklı sistemler üzerinden gelen çeşitli veriler işletmelerin ürettikleri ve tükettikleri verilerin üstel biçimde artmasını sağlamışlardır. Ancak veri hacminde meydana gelen bu artış işletmeler için her zaman bir değer üretimine dönüşmemektedir. Verinin değer üretebilmesi için temelde güvenilir, tutarlı, erişilebilir ve yönetilebilir olması gerekmektedir. Bu temel ise veri yönetişiminin stratejik olarak işletme bünyesinde ele alınmasıyla gerçekleşmektedir.

Enerji sektörü bazında trafo üretimi veri yönetişimi için geniş bir çalışma alanı sunmaktadır. Yüksek mühendislik yapısı, geniş konfigürasyon çeşitliliği, kapsamlı tedarik zinciri, sıkı kalite ve uygunluk standartları ve proje bazlı üretim yapısı, sektörün veri yönetiminde farklılaşmasına ve verinin yönetiminin daha karmaşık bir yapıya evrilmesine neden olmaktadır.

Bu çalışma enerji sektörü trafo üretimi özelinde veri yönetişimi ekosistemini oluşturan temel bileşenler ile bu bileşenler arasındaki ilişkileri ve bağımlılıkları inceleyerek endüstriyel üretim süreçlerinde nasıl yapılandırılması gerektiğine, nasıl somutlaştırılabileceğine ve işletmenin mevcut yönetim bileşenlerinden bütüncül bir hedef mimariye nasıl geçilebileceğine odaklanmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde veri yönetişimi ve ilgili kavramlar hakkında bilgiler sunulmaktadır.

2.1. Veri Yönetişimi (Data Governance)

Veri yönetişimi karar haklarını, hesap verebilirlik yapılarını, politikaları ve standartları belirleyerek veriyi stratejik bir kurumsal varlık olarak yönetmek için geliştirilen çapraz işlevli bir çerçeve olarak tanımlanmaktadır. Literatürde evrensel kabul görmüş tek bir tanım bulunmamakla birlikte farklı araştırmacılar tarafından çeşitli tanımlar ön plana çıkarmaktadır [1]. Abraham ve ark. (2019) [1] tarafından yapılan sistematik bir incelemeyle altı boyutlu kavramsal bir çerçeve geliştirmiştir. Çalışma yönetişimin yalnızca teknik değil, aynı zamanda organizasyonel ve yönetsel boyutlarını da kapsadığını ortaya koymuştur. Bu çerçevede veri yönetişimi; veri kalitesini, veri güvenliğini, veri mimarisini ve meta veri yönetimini bir arada ele alan bütünlük bir yaklaşım olarak ifade edilebilmektedir.

Yönetişim faaliyetlerinin ampirik düzeyde sınıflandırılması açısından Alhassan ve ark. (2016) [2], tarafından yapılan çalışmada ise çok sayıdaki yönetim faaliyetleri tespit etmiş ve bunlar beş temel karar alanında gruplandırmıştır. Bu bulgular, kurumların veri yönetişimini hangi eksenler üzerinden operasyonel yapıya getirildiğini anlama açısından önemlidir. Öte yandan Micheli ve ark. (2020) [16], sosyal bilim perspektifinden konuya yaklaşarak veri yönetişimini yalnızca kurumsal bir mesele olarak değil, aynı zamanda toplumsal bir düzenleme sorunu

olarak ele almışlardır. Çalışma veri yoğunlaşması (datafication) çağında ortaya çıkan dört farklı yönetim modelini sırasıyla açık veri, kişisel veri yönetimi, ortak veri yönetimi ve veri piyasası modelleri olarak tanımlamıştır.

2.2. Veri Yönetimi (Data Management)

En temel haliyle veri yönetimi, veri ve bilgi varlıklarının değerini korumak, artırmak ve olası riskleri azaltmak amacıyla uygulanan planların, politikaların ve uygulamaların geliştirilmesi, yürütülmesi ve denetlenmesini kapsar. Kavram, veri yönetiminden farklı olarak taktik ve operasyonel bir nitelik taşımakta, yönetim kararlarının gündelik uygulamaya dönüştürülmesini ifade etmektedir. Bu bağlamda veri yaşam döngüsü yönetimi, veri kalitesi güvencesi, ana veri yönetimi ve meta veri yönetimi gibi işlevsel alanlar veri yönetiminin temel bileşenlerini oluşturmaktadır [22].

Ana veri yönetiminin kurumsal düzeyde nasıl hayata geçirildiğini araştıran Vilminko-Heikkinen ve Pekkola (2017) [24], veri yönetiminin teknik boyutlarının yanı sıra organizasyonel direniş, sahiplik belirsizliği ve birimler arası koordinasyon güçlükleri gibi beşeri faktörlerin uygulamayı doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur. Veri yönetiminin veri odaklı hükümetler ve yapay zeka sistemleri bağlamındaki stratejik konumuna ilişkin ise Janssen ve ark. (2020) [12], güvenilir yapay zeka sistemlerinin inşasında veri yönetimini temel altyapısal koşul olarak tanımlamış; veri kalitesi, erişilebilirlik ve şeffaflığın sağlanmasının kurumsal yapay zeka kapasitesinin önkoşulu olduğunu vurgulamıştır.

2.3. Veri Sorumluluğu (Data Stewardship)

Veri sorumluluğu, veriyi koruma, kalitesini güvence altına alma ve meşru paydaşlara erişimini kolaylaştırma sorumluluğunu ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. Veri sorumluluğunu teknik bir işlev olmanın ötesinde, etik ve güvene dayalı sorumluluk boyutlarını da kapsayan bir yükümlülük çerçevesi olarak da ifade edilebilir. Bu çerçeve, veri sahipleri, veri kullanıcıları, veri üreticileri ve toplumun geniş kesimleri dahil tüm paydaş gruplarını kapsayan bir sorumluluk anlayışını temel almaktadır [27].

Veri sorumluluğu, veri yönetiminin uygulama ayağı olarak da ifade edilebilir. Veri yönetimi ile karar hakları ve politikaları tanımlanırken, veri sorumluluğu bu politikaların operasyonel düzeyde uygulanmasını içermektedir [19]. Ayrıca FAIR ilkeleriyle (Findable- Bulunabilir; Accessible-Erişilebilir, Interoperable-Birlikte Çalışabilir, Reusable-Yeniden Kullanılabilir) doğrudan bağlantılı olan veri sorumluluğu, özellikle araştırma verisi yönetimi bağlamında veriyi hem teknik hem etik standartlara uygun biçimde koruma ve erişime açma yükümlülüğünü somutlaştıran temel mekanizma olarak öne çıkmaktadır [27].

2.4. Veri Sözlüğü (Data Dictionary)

Veri sözlüğü, bir bilgi sistemine ait veri öğelerinin anlamını, özelliklerini, ilişkilerini, kökenini, kullanımını ve biçimini belgeleyen merkezi bir meta veri deposudur. Kavram literatürde iki farklı anlamda kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, insan odaklı bir belgeleme aracı olarak veri öğelerinin iş tanımlarını ve teknik özelliklerini bir arada sunan referans kaynağı; ikincisi ise veritabanı yönetim sistemlerine entegre edilmiş, şema bilgilerini otomatik olarak izleyen bir sistem bileşenidir [4]. Her iki kullanım biçimi de kurumun veri varlıklarını anlaşılır, tutarlı ve erişilebilir kılması yönünde ortak bir amaca hizmet etmektedir: Bu işlev, özellikle birden fazla kaynak sistemin entegre edildiği ve farklı birimlerin aynı veri öğelerini farklı isimlerle tanımladığı kurumlarda anlam karmaşasını önlemenin temel mekanizması olarak öne çıkmaktadır.

Literatürde veri sözlüğü kavramı giderek artan biçimde semantik ve makine okunabilir boyutlarıyla ele alınmaktadır. Geleneksel veri sözlükleri bireyler için tasarlanmış olsa da modern veri ortamlarının ölçeği ve karmaşıklığı, bu yapıların makineler tarafından da yorumlanabilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu ihtiyaca yanıt olarak geliştirilen semantik veri sözlüğü yaklaşımı, veri öğelerinin yalnızca tanımlanmasını değil, bağlamlarının, ilişkilerinin ve anlamlarının da makine okunabilir biçimde ifade edilmesini mümkün kılmaktadır [18]. FAIR ilkeleriyle doğrudan örtüşen bu yaklaşım, büyük ölçekli ve heterojen veri ortamlarında anlam belirsizliğini azaltma ve birlikte çalışabilirliği artırma açısından önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir.

2.5. Veri Kataloğu (Data Catalog)

Veri kataloğu, kurumun veri varlıklarının envanterini meta veri aracılığıyla tutan, keşfedilebilirliği, erişilebilirliği ve yönetilebilirliği destekleyen merkezi bir meta veri yönetim platformudur. Veri sözlüğünden farklı olarak veri kataloğu, yalnızca veri öğelerini tanımlamakla kalmaz, bu öğelerin birbiriyle nasıl ilişkilendiğini, nereden geldiğini, kim tarafından kullanıldığını ve hangi kalite düzeyinde olduğunu da kapsamlı biçimde belgeler. Bu özelliği sayesinde veri kataloğu, veri yönetişiminin operasyonel aracı, veri soy ağacının görselleştirme platformu ve kurumsal veri okuryazarlığının altyapısı olarak üçlü bir işlev üstlenmektedir [11].

Uygulama boyutunda veri katalogları, veri gölü (data lake) mimarilerinde özellikle kritik bir işlev üstlenmektedir. Yapılandırılmamış ve yarı yapılandırılmış verilerin ham biçimde depolandığı veri göllerinde, meta veri yönetiminin yokluğu veri bataklığı (data swamp) olarak adlandırılan bir duruma yol açmaktadır. Bu durumda verinin nerede olduğu, ne anlama geldiği ve nasıl kullanılacağı bilinmemektedir. Veri katalogları bu sorunu aşmanın temel mekanizması olarak öne çıkmaktadır. Veri gölü içindeki varlıkların keşfedilmesini, sınıflandırılmasını ve yönetilmesini mümkün kılmaktadır [20]. Benzer biçimde veri örgüsü (data mesh) mimarilerinde de veri katalogları, farklı domainlere ait veri ürünlerinin merkezi bir envanter noktasından erişilebilir kılınması için kullanılan bir altyapı bileşeni olarak tanımlanmaktadır.

2.6. Veri Kalitesi (Data Quality)

Veri kalitesi, verinin amaçlanan kullanım için uygunluğu olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, veri kalitesinin mutlak değil, kullanım bağlamına ve kullanıcı gereksinimlerine göre değişen görece bir nitelik taşıdığını vurgular. Wang ve Strong (1996) [26], veri kalitesini dört boyutlu hiyerarşik bir çerçevede ele almıştır. Bunlar içsel kalite (intrinsic); verinin kendi başına doğru ve güvenilir olması, bağlamsal kalite (contextual); verinin belirli bir görev bağlamında yeterli ve güncel olması, temsili kalite (representational); verinin tutarlı ve anlaşılır biçimde sunulması, erişilebilirlik kalitesi (accessibility); veriye kolayca ve güvenli biçimde erişilebilmesi şeklindedir.

Uygulama boyutunda veri kalitesi, kurumsal karar alma süreçlerinden klinik uygulamalara, finansal raporlamadan yapay zeka sistemlerinin eğitime kadar son derece geniş bir etki alanına sahiptir. Organizasyonel düzeyde veri kalitesinin nasıl ölçüleceği sorusuna pratik bir yanıt arayan Pipino ve ark. (2002) [17], minimum, maksimum ve ağırlıklı ortalama yöntemlerine dayanan bir metrik sistemi geliştirmiştir. Bu sistem hem öznel kullanıcı algısını hem de nesnel sistem ölçümlerini kapsayan hibrit bir değerlendirme anlayışını temsil etmektedir. Kurumlar için hangi veri kalitesi boyutunun öncelikli olduğu ise ihtiyaca göre değişmektedir. Örneğin gerçek zamanlı analitik sistemlerde zamanlılık (timeliness) ön plana çıkarken düzenleyici uyumluluk gerektiren ortamlarda tamlık (completeness) ve doğruluk (accuracy) kritik hale gelmektedir [6].

2.7. Veri Soy Ağacı (Data Lineage)

Veri soy ağacı, verinin kaynağından ana kullanımına kadar geçtiği tüm süreçleri belgeleyen meta veri altyapısını ifade etmektedir. Bu süreçler, oluşturulma, dönüştürülme, iletilme ve tüketilme aşamalarıdır. Verinin "nereden geldiğini, nereye gittiğini ve bu yolculuk boyunca nasıl değiştiğini" gösterme amacı taşımaktadır. Veri soy ağacını doğrudan teknik bir izleme mekanizması olarak değil aynı zamanda veri güvenilirliğinin ve kurumsal hesap verebilirliğin temeli olarak konumlandırmaktadır. Cheney ve ark. (2009) [5], veritabanı sistemleri açısından soy ağacını üç kavramsal boyutta ele almıştır. Bunlar, neden-köken (why-provenance) bir çıktının hangi girdilerden türetildiğini gösterirken, nasıl-köken (how-provenance) bu dönüşümün matematiksel yapısını ortaya koyar; nerede-köken (where-provenance) ise bir çıktı değerinin hangi kaynak konumdan kopyalandığını izler. Bu yapı veri soy ağacının kavramsal temellerini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır.

Uygulama boyutunda ise veri soy ağacı, düzenleyici uyumluluk, hata ayıklama, etki analizi ve veri göçü (data migration) gibi kritik kurumsal süreçlerde vazgeçilmez bir işlev üstlenmektedir. Sağlık bilişimi alanında rutin klinik verinin araştırma amacıyla kullanılabilmesi için verinin kökeninin, nasıl toplandığının ve hangi dönüşümlerden geçtiğinin belgelenmiş olması yasal ve etik bir zorunluluktur. Bu bağlamda veri soy ağacı, veri kökeni (data provenance) kavramının operasyonel karşılığı olarak tanımlanmaktadır [7]. Bilimsel iş akışları bağlamında ise Simmhan ve ark. (2005) [23], veri kökeni sistemlerini neden kaydettikleri, neyi tanımladıkları ve kökeni nasıl temsil edip yaydıkları ekseninde sınıflandıran kapsamlı bir yapı geliştirmiştir. Bu yapı

bilimsel iş akışlarından iş zekası sistemlerine kadar geniş bir uygulama alanında soy ağacı çözümlerinin tasarımına kullanılmaktadır.

Literatürde veri soy ağacı, yapay zeka ve makine öğrenmesi sistemlerinin gelişimiyle birlikte yeni bir stratejik önem kazanmıştır. Yapay zeka sistemlerindeki algoritmik önyargının büyük ölçüde eğitim verilerinin kökeninden ve ön işleme adımlarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu durum veri kökenini sorumlu yapay zekanın (responsible AI) temel altyapısal koşullarından biri haline getirmektedir [28]. Veri kökeninin belgelenmesinin adalet, hesap verebilirlik, şeffaflık ve açıklanabilirlik gibi sorumlu yapay zeka ilkelerini nasıl desteklediğini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Bu gelişme veri soy ağacının artık yalnızca veri mühendisliğinin değil, aynı zamanda yapay zeka etiğinin de temel kavramları arasında yer aldığına işaret etmektedir.

2.8. Ürün Olarak Veri (Data Product)

Ürün olarak veri, verinin salt bir süreç yan çıktısı ya da ham madde olarak değil yönetilebilir, keşfedilebilir ve tüketilebilir bağımsız bir kurumsal varlık olarak ele alınmasını ifade eden kavramdır. Bu yaklaşım verinin pasif bir depolama nesnesinden çıkıp değer yaratan, sahiplenilen ve yaşam döngüsü boyunca yönetilen bir ürüne dönüşmesini temsil etmektedir. Hasan ve Legner (2023) [9], literatürdeki dağınık tanımları harmonize ederek veri ürününü yinelenen bilgi ihtiyaçlarını karşılayan ve ilgili veri öğelerini tüketilebilir biçime dönüştürüp paketleyerek değer yaratan yönetilen bir yapıt olarak tanımlamıştır. Bu tanım veri ürününün yalnızca teknik bir çıktı değil, belirli bir kullanıcı kitlesinin gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış ve bu doğrultuda değer üretmesi beklenen bir iş nesnesi olduğunu vurgulamaktadır.

Uygulama boyutunda veri ürünleri, veri örgüsü (data mesh) mimarilerinin temel yapı taşı oluşturmakta ve kurumların veri demokratikleşmesi hedefini somutlaştırmasının birincil mekanizması olarak öne çıkmaktadır. Blohm ve ark. (2024) [3], veri ürünü, veri örgüsü ve veri dokusu (data fabric) kavramlarını karşılaştırmalı biçimde ele alarak veri ürünlerinin tüketim odaklı bir perspektifi, veri dokusu kavramının ise sağlama odaklı bir perspektifi temsil ettiğini ortaya koymuştur. Bu çerçevede veri ürünleri; veri, meta veri, kod, politikalar ve altyapı bağımlılıklarını bir arada barındıran kendi kendine yeten mantıksal birimler olarak tanımlanmaktadır. Kurumsal düzeyde veri ürünü geliştirmenin en büyük güçlüğü ise teknik tasarımın ötesinde, organizasyonel sahiplik, kalite taahhüdü ve yeniden kullanılabilirlik standartlarının bir arada yönetilmesini gerektirmesidir.

2.9. Data Vault 2.0

Data Vault 2.0, kurumsal veri ambarlarının tasarımı, uygulanması ve yönetimi için geliştirilmiş bütünleşik bir standarttır. Metodoloji, mimari ve model olmak üzere üç temel sütun üzerine inşa edilmiştir. Geleneksel veri ambarı yaklaşımlarının (Kimball'ın boyutsal modellemesi ve Inmon'un normalleştirilmiş modeli) kaynak sistem değişikliklerine karşı kırılganlığı, ölçeklenebilirlik sınırlılıkları ve denetim izlerinin yetersizliği gibi temel sorunlarına yanıt

üretmek amacıyla geliştirilmiştir [15]. Model sütunu, iş anahtarlarını (Hub), iş anahtarları arasındaki ilişkileri (Link) ve zaman içinde değişen betimleyici verileri (Satellite) birbirinden ayırıştırarak yapısal bir mantık üzerine kuruludur. Bu ayırıştırma modelin değişikliklere karşı dayanıklılığını artırmakta ve yeni kaynak sistemlerin mevcut yapıya minimum müdahaleyle entegre edilmesine imkan tanımaktadır.

Data Vault 2.0'ın en belirgin avantajları denetlenebilirlik, paralel yükleme kapasitesi ve kaynak sistem değişikliklerine karşı esnekliktir. Metodoloji sütunu yerleşik yazılım mühendisliği standartlarını veri ambarı geliştirme süreçlerine uyarlayan çevik (agile) bir proje yürütme çerçevesi sunmaktadır [25]. Veri gölü (data lake) mimarileriyle entegrasyon bağlamında ise Data Vault 2.0'ın yapılandırılmış veri modelleme kapasitesi ham verinin anlamsız yığıldığı veri bataklığı sorununu önlemenin pratik bir çözümü olarak öne çıkmaktadır. Giebler ve ark. (2019) [8], endüstriyel vaka analizlerine dayanarak Data Vault'un veri gölü ortamlarında yapılandırılmış veri modellemesi için geçerli ve ölçeklenebilir bir yaklaşım olduğunu deneysel olarak göstermiştir.

2.10. Veri Olgunluk Modelleri (Data Maturity Models)

Veri olgunluk modelleri, kurumların veri ve analitik yeteneklerinin mevcut durumunu değerlendirmek, gelişim hedefleri belirlemek ve sektör içinde karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılan işlevsel yapılardır. Veri olgunluk modelleri üç temel içerik türünde sınıflandırılabilmektedir. Bunlar organizasyon odaklı modeller (kültür, stratejik uyum ve süreçleri esas alanlar), teknoloji odaklı modeller (veri altyapısı ve sistem mimarisini esas alanlar) ve veri odaklı modeller (veri kalitesi, yönetim ve veri yönetimini esas alanlar) şeklindedir [14].

2. 11. Veri Gözlemlenebilirliği (Data Observability)

Veri gözlemlenebilirliği, bir kuruluşun veri sistemlerinin ve veri hatlarının (data pipelines) sağlığını, güvenilirliğini ve performansını sürekli olarak izleme, anlama ve yönetme kapasitesini ifade eden çok boyutlu bir yaklaşımdır. Kavram kontrol teorisindeki gözlemlenebilirlik ilkesinden türetilerek veri mühendisliği ve MLOps alanlarının özgün gereksinimlerine göre yeniden biçimlendirilmiştir. Veri gözlemlenebilirliği beş temel boyut üzerinden sınıflandırılmaktadır. Bunlar; verinin güncel olup olmadığını ifade eden tazelik (freshness), verinin beklenen boyut sınırları içinde olup olmadığını belirten hacim (volume), istatistiksel özelliklerde kayda değer bir değişim bulunup bulunmadığını açıklayan dağılım (distribution), beklenmeyen yapısal değişikliklerin varlığını ifade eden şema (schema) ve verinin sistemler ve süreçler arasında nasıl akış halinde olduğunu gösteren soyağacı (lineage) olarak verilebilir [21].

3. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışma, Hevner ve ark. (2004) [10] ortaya koyduğu Tasarım Bilimi Araştırması (Design Science Research - DSR) metodolojisini temel araştırma yöntemi olarak benimsemektedir. DSR, pratik problemlere yönelik yenilikçi çerçevelerin tasarlanması ve değerlendirilmesi yoluyla bilgi üreten bir araştırma yöntemidir [10]. Bu çalışmada çerçeve, veri yönetişiminin parçalı ele alınmasından kaynaklanan bütüncül çerçeve eksikliğine yanıt olarak geliştirilen bir sistem ve uygulama yol haritasıdır.

DSR çerçevesinin teorik temelini inşa etmek amacıyla, Kitchenham ve Charters'in (2007) [13] kılavuzuna uygun biçimde Sistemik Literatür Taraması (SLR) destekleyici yöntem olarak kullanılmaktadır. SLR bu çalışmada bağımsız bir araştırma çıktısı üretmek için değil, geliştirilen çerçevenin kavramsal bileşenlerini literatürde temellendirmek ve mevcut bilgi birikimiyle ilişkilendirmek amacıyla yer almaktadır. Tarama çeşitli veritabanlarını kapsamakta olup arama terimleri veri yönetişimi ekosisteminin her bir bileşenini içerecek biçimde incelenmiştir. Bu çalışmada işletme, geliştirilen çerçevenin gerçek bir ortamda nasıl işlediğini göstermek için seçilmiştir.

4. BULGULAR

Sistemik literatür taramasından elde edilen bulgular, üretim sektöründe veri yönetişiminin üç temel eğilim etrafında evrildiğini ortaya koymaktadır. Birincisi, yönetişimin bilgi teknolojileri altyapı kararından stratejik yönetim işlevine dönüştüğü, ikincisi, merkezi mimarilerden dağıtık ve etki alanı odaklı modellere geçiş, üçüncüsü ise veri kalitesinin sürekli kalite yaklaşımı ile ele alınmasıdır.

Astor Enerji bünyesinde veri yönetişimi bileşenlerinin mevcut durumu, DAMA-DMBOK (Data Management Body of Knowledge) bazlı dört seviyeli nitel olgunluk matrisi üzerinden değerlendirilmektedir. Aşağıdaki tablo, her bir bileşenin mevcut olgunluk seviyesini ve temel bulguları özetlemektedir.

Tablo 1. Olgunluk Değerlendirmesi

Bileşen	Olgunluk Seviyesi	Mevcut Durum Değerlendirmesi
Veri Yönetişimi Çerçevesi	Tanımlı	Temel politikalar ve roller belirlenmiş. Bütüncül bir çerçeve olarak kurumsal düzeye entegre edilmesi planlanıyor.
Yetkilendirme Matrisi	Tanımlı	Veri sahipliği ve erişim yetkileri tanımlanmış, rol bazlı erişim kontrolünün geliştirmesi devam ediliyor.
Veri Sözlüğü	Başlangıç/Tanımlı	İş terimleri ve veri tanımları dokümanite edilmeye başlanmış, kapsam henüz kısmi.
Veri Sorumluluğu	Başlangıç	Sorumluluk rolleri henüz resmi olarak tanımlanmamış, sorumluluklar temel düzeyde.

Veri Kalitesi	Başlangıç	Kalite kuralları sistematik değil; reaktif temizleme ağırlıklı.
Veri Soy Ağacı	Başlangıç öncesi	Soy ağacı altyapısı henüz kurulmamış, veri akışları dokümente değil.
Veri Kataloğu	Başlangıç öncesi	Merkezi bir katalog mevcut değil, veri keşfedilebilirliği ise sınırlı.
Ürün Olarak Veri	Başlangıç öncesi	Veri ürünü yaklaşımı henüz benimsenmemiş.
Metadata Yönetimi	Başlangıç	Kısmi metadata ve sistematik yönetim altyapısı temel düzeyde.
Veri Yol Haritası	Tanımlı	Yönetişim dönüşüm aşamaları planlanmış ve dokümente.
Sistem Yol Haritası	Tanımlı	Teknolojik altyapı geçiş planı mevcut ve aktif.

Olgunluk değerlendirmesi, işletmenin veri yönetişimi dönüşümünde anlamlı adımlar attığını, ancak bileşenler arası entegrasyonun ve bazı kritik bileşenlerin henüz erken aşamada olduğunu göstermektedir. Bu durum, bütüncül yapının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bileşenler tek tek mevcut olsa dahi bunların birbirini besleyen bir ekosistem olarak yapılandırılması işletmenin temel ihtiyacıdır.

Her bir yönetim bileşeninin işletmeye mevcut durumda kattığı değer, olgunlaştırıldığında elde edilecek potansiyel değer ve bileşenler arası yapının ortaya çıkaracağı bütüncül değer kavramsal olarak ortaya konmaktadır.

4.1 Mevcut Değer

Yetkilendirme matrisi, veri erişiminde temel bir düzen ve kontrol sağlamakta, yetkisiz erişim riskini azaltmakta ve veri sahipliği farkındalığını artırmaktadır. Veri sözlüğü çalışmaları ise belgelenen alanlarda semantik belirsizliği azaltmaya başlamaktadır. Ayrıca veri ve sistem yol haritaları, dönüşüm sürecini planlama ve önceliklendirme kapasitesi sağlamaktadır.

4.2 Potansiyel Değer

Veri sorumluluğunun resmi olarak yapılandırılması, veri kalite süreçlerinin sürdürülebilirliğini ve sözlük güncelliğini garanti altına alacaktır. Veri kalitesinin yönetimi ile üretim süreçlerinde malzeme uyumsuzluklarını, tasarım hatalarını ve teklif sürecindeki gecikmeleri azaltacaktır. Veri soy ağacı kurulması, düzenleyici denetim uyumunu güçlendirecek ve değişiklik yönetimini kolaylaştıracaktır. Ürün olarak veri yaklaşımının benimsenmesi, iş birimlerinin self-servis veri erişimini mümkün kılacak ve bilgi teknolojilerine olan bağımlılığını azaltacaktır.

4.3 Bütüncül Değer

Bileşenlerin birbirini beslemesiyle ortaya çıkan toplam değer, tekil bileşen değerlerinin toplamından büyüktür. Örnek olarak kalitesi yönetilen, soy ağacı izlenebilir, sözlükte tanımlı ve katalog üzerinden keşfedilebilir bir veri varlığı, organizasyonun karar alma hızını ve doğruluğunu katlamalı olarak artırır. Bu bütüncül değer, veri güveni (data trust) kavramı üzerinden işleyecektir. Kullanıcılar veriye güvendiğinde veri kullanımı artacak ve bu durumda veriye yapılan yatırımın getirisi yükselecektir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, veri yönetişiminin endüstriyel üretim bağlamında nasıl ele alınması gerektiği sorusuna bütüncül bir perspektiften yanıt aramaktadır. Çalışma veri yönetişimini ayrı ayrı seçilip devreye alınan araçların toplamı değil, bileşenleri arasında yapısal bağımlılıklar bulunan bir ekosistem olarak tanımlamaktadır.

Bu iddiayı somutlaştırmak için geliştirilen çerçeve, trafo üretimi örneği üzerinden dört boyutlu bir mimari tasarıma dönüştürülmüştür. Bu boyutlar, yönetim, operasyonel, teknolojik ve değer katmanlarından oluşan bu mimari, soyut kavramları (veri sözlüğü, veri kataloğu, veri sorumluluğu, veri soy ağacı, ürün olarak veri) birbirini tamamlayan ve birbirine bağımlı bileşenler olarak ifade etmektedir. Tasarım parametrelerinden test sonuçlarına, satın alma süreçlerinden teklif hesaplamalarına kadar uzanan uygulamalar her bileşenin kendi başına değil diğerleriyle birlikte işlediği ölçüde değer ürettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak çalışma veri yönetişimini bir teknoloji seçimi ya da tek seferlik bir proje değil aşamalı olarak inşa edilen ve organizasyonel bağlılık gerektiren bir dönüşüm süreci olarak tanımlamaktadır. Bu süreçte hangi bileşenden başlanacağı, hangi sırayla ilerleneceği ve bileşenler arasındaki bağımlılıkların nasıl yönetileceği, teknik kararlar kadar stratejik kararlar olarak da ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Abraham, R., Schneider, J., and vom Brocke, J. (2019). Data governance: A conceptual framework, structured review, and research agenda. *International Journal of Information Management*, 49, 424–438. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.07.008>
- [2] Alhassan, I., Sammon, D., and Daly, M. (2016). Data governance activities: An analysis of the literature. *Journal of Decision Systems*, 25(Suppl. 1), 64–75. <https://doi.org/10.1080/12460125.2016.1187397>
- [3] Blohm, I., Wortmann, F., Legner, C., and Köbler, F. (2024). Data products, data mesh, and data fabric. *Business and Information Systems Engineering*, 66(5), 643–652. <https://doi.org/10.1007/s12599-024-00876-5>
- [4] Caverlee, J. (2009). Data dictionary. In L. Liu and M. T. Özsu (Eds.), *Encyclopedia of database systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_903
- [5] Cheney, J., Chiticariu, L., and Tan, W.-C. (2009). Provenance in databases: Why, how, and where. *Foundations and Trends in Databases*, 1(4), 379–474. <https://doi.org/10.1561/19000000006>
- [6] Cichy, C., and Rass, S. (2019). An overview of data quality frameworks. *IEEE Access*, 7, 24634–24648. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899751>
- [7] de Lusignan, S., Liaw, S.-T., Krause, P., Curcin, V., Tristan Vicente, M., Michalakidis, G., Agreus, L., Leysen, P., Shaw, N., and Mendis, K. (2011). Key concepts to assess the readiness of data for international research: Data quality, lineage and provenance, extraction and processing errors, traceability, and curation. *Yearbook of Medical Informatics*, 2011, 112–121. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1638748>
- [8] Giebler, C., Gröger, C., Hoos, E., Schwarz, H., and Mitschang, B. (2019). Modeling data lakes with Data Vault: Practical experiences, assessment, and lessons learned. In A. Laender, B. Pernici, E.-P. Lim, and J. de Oliveira (Eds.), *Conceptual modeling. ER 2019* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11788, pp. 63–77). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33223-5_7
- [9] Hasan, M. R., and Legner, C. (2023). Understanding data products: Motivations, definition, and categories. *ECIS 2023 Research Papers*, Article 229. https://aisel.aisnet.org/ecis2023_rp/229
- [10] Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., and Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- [11] Jahnke, N., and Otto, B. (2023). Data catalogs in the enterprise: Applications and integration. *Datenbank-Spektrum*, 23, 89–96. <https://doi.org/10.1007/s13222-023-00445-2>

- [12] Janssen, M., Brous, P., Estevez, E., Barbosa, L. S., and Janowski, T. (2020). Data governance: Organizing data for trustworthy artificial intelligence. *Government Information Quarterly*, 37(3), Article 101493. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101493>
- [13] Kitchenham, B., and Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering* (Technical Report EBSE-2007-01). Keele University and Durham University.
- [14] Langer, B. (2025). Understanding data and analytics maturity: A systematic review of maturity model composition. *Schmalenbach Journal of Business Research*, 77(2), 205–227. <https://doi.org/10.1007/s41471-024-00205-2>
- [15] Linstedt, D., and Olschimke, M. (2015). *Building a scalable data warehouse with Data Vault 2.0*. Morgan Kaufmann / Elsevier.
- [16] Micheli, M., Ponti, M., Craglia, M., and Berti Suman, A. (2020). Emerging models of data governance in the age of datafication. *Big Data and Society*, 7(2), 1–15. <https://doi.org/10.1177/2053951720948087>
- [17] Pipino, L. L., Lee, Y. W., and Wang, R. Y. (2002). Data quality assessment. *Communications of the ACM*, 45(4), 211–218. <https://doi.org/10.1145/505248.506010>
- [18] Rashid, S. M., McCusker, J. P., Fridman Noy, N., Mons, B., and McGuinness, D. L. (2020). The semantic data dictionary: An approach for describing and annotating data. *Data Intelligence*, 2(4), 443–486. https://doi.org/10.1162/dint_a_00058
- [19] Rosenbaum, S. (2010). Data governance and stewardship: Designing data stewardship entities and advancing data access. *Health Services Research*, 45(5 Pt 2), 1442–1455. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6773.2010.01140.x>
- [20] Sawadogo, P., and Darmont, J. (2021). On data lake architectures and metadata management. *Journal of Intelligent Information Systems*, 56(1), 97–120. <https://doi.org/10.1007/s10844-020-00608-7>
- [21] Shankar, S., and Parameswaran, A. G. (2022). Towards observability for production machine learning pipelines. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 15(13), 4015–4022. <https://doi.org/10.14778/3565838.3565853>
- [22] Shah, S. I. H., Peristeras, V., and Magnisalis, I. (2021). DaLiF: A data lifecycle framework for data-driven governments. *Journal of Big Data*, 8, Article 89. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00481-3>
- [23] Simmhan, Y. L., Plale, B., and Gannon, D. (2005). A survey of data provenance in e-science. *ACM SIGMOD Record*, 34(3), 31–36. <https://doi.org/10.1145/1084805.1084812>
- [24] Vilminko-Heikkinen, R., and Pekkola, S. (2017). Master data management and its organizational implementation: An ethnographical study within the public sector. *Journal of Enterprise Information Management*, 30(3), 454–475. <https://doi.org/10.1108/JEIM-07-2015-0070>

- [25] Vines, A., and Samoila, R.-E. (2023). An overview of Data Vault methodology and its benefits. *Informatica Economica*, 27(2), 15–24.
<https://doi.org/10.24818/issn14531305/27.2.2023.02>
- [26] Wang, R. Y., and Strong, D. M. (1996). Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. *Journal of Management Information Systems*, 12(4), 5–33.
<https://doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099>
- [27] Wendelborn, C., Anger, M., and Schickhardt, C. (2023). What is data stewardship? Towards a comprehensive understanding. *Journal of Biomedical Informatics*, 140, Article 104337. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2023.104337>
- [28] Werder, K., Ramesh, B., and Zhang, R. (2022). Establishing data provenance for responsible artificial intelligence systems. *ACM Transactions on Management Information Systems*, 13(2), Article 22, 1–23. <https://doi.org/10.1145/3503488>

SEGMENTATION OF SKIN CANCER DISEASE USING DEEP LEARNING METHODS

Aybüke BOZKURT YENİYER

Gazi University

aybuke.bozkurt@gazi.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-8335-3976>

Prof. Dr. Necaattin BARIŞCI

Gazi University,

nbarisci@gazi.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-8762-5091>

ÖZET

Skin cancer is one of the most serious and life-threatening diseases worldwide, and its incidence has increased significantly in recent years. Early detection plays a critical role in improving patient survival rates. In this context, deep learning-based medical image analysis methods have shown promising results in assisting dermatologists in the diagnosis and segmentation of skin lesions. Accurate lesion segmentation is an essential step in computer-aided diagnosis systems because it enables precise identification of lesion boundaries. In this study, thirteen different deep learning-based segmentation architectures were evaluated using two dermoscopic image datasets, HAM10000 and ISIC 2018. To investigate the effect of preprocessing on segmentation performance, experiments were conducted with and without preprocessing techniques, including hair removal, contrast enhancement, and Gaussian blur filtering. The HAM10000 dataset was divided into training %70, validation %15, and testing %15 sets, while the predefined split of the ISIC 2018 dataset was used. The models were evaluated using Dice coefficient, Jaccard index, and accuracy metrics. The results showed that preprocessing generally improved segmentation performance across most models. Among the U-Net-based architectures, Res U-Net achieved the highest performance on the HAM10000 dataset, with %92.3 Dice, %86.1 Jaccard, and %94.2 accuracy. The same architecture also showed the best results on the ISIC 2018 dataset, achieving %86.1 Dice, %75.4 Jaccard, and %90.6 accuracy. Among the V-Net-based architectures, Attention V-Net achieved the highest performance on the HAM10000 dataset, with %92 Dice, %85 Jaccard, and %94.6 accuracy. On the ISIC 2018 dataset, the same architecture produced the best segmentation results with %85 Dice, %75 Jaccard, and %91 accuracy.

Keywords : Skin Lesion Segmentation; Deep Learning; Dermoscopic Images

1. INTRODUCTION

Skin cancer is one of the most serious and life-threatening diseases worldwide, with its incidence increasing significantly in recent years. Approximately 232,000 people are diagnosed with skin cancer annually, and nearly 55,000 individuals die each year due to this disease (Grob et al., 2018). The mortality rate and prevalence of skin cancer vary considerably across different regions of the world depending on factors such as early diagnosis and access to primary healthcare services (Jones et al., 2022).

The development of skin cancer is associated with several risk factors. The most prominent factors include excessive exposure to ultraviolet (UV) radiation, indoor tanning, fair skin type, and a family history of melanoma (Sauter et al., 2023). The diagnosis of cancerous cells is generally confirmed through histopathological examination after the suspicious lesion is surgically removed from the body. According to the melanoma guidelines of the American Joint Committee on Cancer (AJCC), the initial diagnosis is established based on pathological evaluation (Grob et al., 2018). Survival rates vary significantly depending on the stage of the disease. While patients diagnosed at stage I or II have survival rates exceeding 80%, this rate decreases to below 25% when the cancer spreads to other parts of the body (Gershenwald et al., 2017).

The pathological reports obtained after histopathological examination play a crucial role in determining the diagnosis and treatment of skin cancer. These reports provide important information such as tumor thickness and cancer subtype. In recent years, deep learning techniques have increasingly been used to accelerate the analysis and diagnosis of medical images. Several studies have demonstrated that deep learning models can perform skin cancer diagnosis at a level comparable to dermatologists, and in some cases even outperform them, while also assisting dermatologists in the diagnostic process (Brinker et al., 2019; Esteva et al., 2017; Jones et al., 2022).

Deep learning methods, also known as representation learning approaches, have significantly reduced the reliance on traditional machine learning techniques by enabling automatic feature extraction and reducing the need for manual feature engineering (LeCun et al., 2015). These methods allow objective statistical evaluation of image data, eliminating the subjectivity associated with human decision-making processes. Moreover, deep learning models can analyze large numbers of medical images simultaneously, which accelerates the diagnostic process and improves clinical efficiency (Alhudhaif et al., 2023; Chaturvedi et al., 2020).

Recent studies in the literature have focused on improving segmentation performance for skin lesion detection using various deep learning architectures and publicly available datasets such as ISIC and HAM10000. Yuan et al. (2024) proposed the UCM-Net model by integrating CNN and MLP components into the traditional U-Net architecture. The proposed model was evaluated using the PH2, ISIC 2017, and ISIC 2018 datasets and achieved Dice scores of 94.4%, 87.6%, and 88.48%, respectively.

Ruan et al. (2023) developed the EGEU-Net model for skin lesion segmentation and evaluated it on the ISIC 2017 and ISIC 2018 datasets. Their results showed Dice scores of 88.77% and

89.46%, respectively. Shrestha et al. (2023) conducted segmentation experiments on the HAM10000 dataset, which contains 10,015 dermoscopic images divided into seven classes, using three deep learning models: U-Net, ResUNet, and DeepLabV3+. Among these models, DeepLabV3+ achieved the highest performance with an overall accuracy of 96.21%.

Similarly, Siddique et al. (2022) performed segmentation using three U-Net-based architectures, namely Efficient R2U-Net, Efficient Dense U-Net, and Efficient Fractal U-Net, and evaluated the models on the ISIC 2018 and HAM10000 datasets. Their results reported Dice scores of approximately 88% for the ISIC 2018 dataset and 92% for the HAM10000 dataset. Li et al. (2022) proposed a Multi-scale Hybrid Attention U-Net (MHAU-Net) architecture for accurate localization and segmentation of skin lesions, achieving a Dice score of 93.69% on the ISIC 2018 dataset.

Alhudhaif et al. (2022) introduced a fusion model combining V-Net2D and U-Net + ResNet2D architectures, which achieved a Dice score of 88% on the ISIC 2018 dataset. Ruan et al. (2022) proposed a lightweight segmentation model called MALUNet, which was evaluated on the ISIC 2017 and ISIC 2018 datasets and achieved Dice scores of 88.13% and 89.04%, respectively. Additionally, Jafari et al. (2020) developed the DRU-Net architecture for skin lesion segmentation and reported a Dice score of 86% on the ISIC 2018 dataset.

2. SKIN CANCER DISEASE

Skin cancer is diagnosed using dermoscopic devices. Dermoscopy, a skin imaging technique that enhances the clarity of skin lesions, aids in diagnosing discolored areas on the skin (Kassem et al., 2021). However, the results from dermoscopic images alone are not sufficient for a definitive cancer diagnosis. Similarities between cancerous and non-cancerous skin lesions, such as changes in tissue and color, make diagnosis difficult.

2.1. Skin Cancer Disease Datasets

The ISIC 2018 dataset includes 2595 images for training, 101 images for validation, and 1001 images for testing. Each image is accompanied by a ground truth segmentation mask that offers pixel-level annotations of the lesion area.

The 10,015 dermoscopic images in the HAM10000 training set were collected over a 20-year period from two different locations: The Department of Dermatology at the Medical University of Vienna in Austria and Cliff Rosendahl's skin cancer clinic in Queensland, Australia. The Australian site stored the images and metadata in PowerPoint files and Excel databases. The Austrian site began collecting images before the era of digital cameras and stored the images and metadata in different formats at different times (Tschandl et al., 2018).

3. SEGMENTATION METHODS

Segmentation, also called partitioning, is generally defined as dividing an image into regions that share common features. Each pixel in the image gets a class value, and pixels with the same class are grouped together based on their shared characteristics, thus segmenting the image.

3.1. U-Net

The U-Net model, developed specifically for medical image segmentation, was proposed by Ronnerberg. The architecture consists of two main parts: the encoder and the decoder, and it has two paths. The encoder is the first part and functions as the reduction path used to extract features from the image. It includes only traditional convolutional layers and rectified linear units (ReLU), which are applied after each convolution, along with max pooling layers. The second path, the decoder, is a symmetrical expansion path that provides precise localization. Since it contains only convolutional layers and no fully connected layers, it is also called a fully convolutional end-to-end network. The original U-Net model has a total of 23 convolutional layers. It is named U-Net because its architecture resembles the letter U. The first part of the model aims to increase the resolution during the expansion phase, which is the second part. This increases the detail in the output. To do this, a 2×2 upsampling convolution is performed during the expansion step, and the number of filters is halved. The appropriately cropped feature map obtained during the contraction phase is then copied and combined with the output from the expansion phase. This is followed by two consecutive 3×3 convolutional operations. The ReLU activation function is applied after each convolution in this section, and these operations are repeated three more times. In the final layer, a 1×1 convolution operation maps the 64-component feature vector to the required number of classes (Polat, 2022).

3.2 V-Net

Similar to the basic U-Net architecture, the V-Net network architecture consists of encoding and decoding sections. Therefore, it is a variant of the U-Net architecture (Alhudhaif et al., 2022a). The V-Net architecture uses a convolutional structure to extract features and reduce resolution while following the correct path. Classic pooling methods can sometimes ignore important details during the segmentation process. V-Net convolutions are therefore used to prevent this by downsampling, which reduces the size of the input data transmitted to the receiver features calculated in the next step. Each layer on the encoder side of the V-Net architecture consists of feature set computation sections that are twice the size of the previous layer. The decoder section of the network aims to provide two-channel volumetric segmentation. Therefore, feature maps are provided to obtain the necessary information. After each layer of the encoder, a diversion operation is performed to increase the size of the inputs. The same operations are performed in reverse in the decoder section to reduce the sizes. The features extracted from each stage of the encoder phase are transferred to the decoder phase. This is schematically shown in Figure 3 with horizontal connections. Consequently, small details that would otherwise be lost in the encoder stage can be captured, thereby enhancing the estimated segmentation quality (Turk et al., 2020).

3.3. Res U-Net

ResUNet is an advanced deep learning architecture designed for image segmentation tasks. It combines the encoder-decoder structure of U-Net with the residual connections of ResNet, providing a deeper, more intuitive model. While the convolutional layers in the classic U-Net architecture are applied directly in sequence at each level, in ResUNet they are grouped within residual blocks. Each residual block improves gradient flow and stabilises the learning process by adding the input information directly to the convolution output. This significantly improves

segmentation accuracy, particularly in high-resolution medical images. Studies have shown that ResUNet achieves better segmentation results than the classic U-Net and other similar architectures (Zhang et al., 2018).

3.4. Attention U-Net

The Attention U-Net architecture aims to improve segmentation performance by integrating attention mechanisms into the classic U-Net model. It was specifically developed for tasks such as medical image segmentation, with the aim of distinguishing important structures more accurately. The characteristic encoder-decoder structure of U-Net is preserved in this architecture, with attention gates added to the skip connection points. These gates ensure that the decoder receives only the most relevant spatial information from the encoder. Consequently, the model generates a more effective feature map by focusing solely on relevant regions. This increases segmentation accuracy, especially in low-contrast or complex images, by directing the model's attention to important areas. (Tian et al., 2018).

3.5. Dense U-Net

DenseUNet is an advanced deep learning model that combines the powerful encoder-decoder structure of the U-Net architecture with the dense connection principle of the DenseNet architecture. This structure is characterised by dense blocks, in which each convolutional layer is connected to all subsequent layers, as well as to the next layer. This increase feature reusability, improves parameter efficiency and facilitates gradient propagation. Compared to the classic U-Net, this architecture provides higher accuracy and better overall performance, especially in sensitive segmentation tasks such as medical image segmentation (X. Li et al., 2018).

3.6. U-Net++

U-Net++ is an enhanced version of the classic U-Net architecture, characterised primarily by its dense skip connections. Nested and deepened connections are used in U-Net++ to bridge the gap between the encoder and decoder layers, making the flow of information more effective. This structure improves accuracy, particularly when segmenting low-contrast or poorly defined regions. It also improves accuracy by enabling more efficient feature processing through additional intermediate convolution blocks. (Zhou et al., 2020).

3.7. Res V-Net

The Residual V-Net 2D segmentation model was developed by integrating residual connections into the 2D version of the classic V-Net architecture. This structure enhances gradient flow by adding direct input data to each convolutional block, thereby enabling the efficient training of deeper networks. In particular, it improves the stability and accuracy of the learning process in segmentation tasks involving 2D medical images, such as those of skin lesions or retinas. (Milletari et al., 2016).

3.8. Attention V-Net

V-Net 2D with attention mechanisms added to its encoder-decoder structure is known as Attention V-Net 2D. The attention gates, which are particularly placed at 'skip connection' points, ensure that the model only focuses on meaningful regions. Consequently, the model

suppresses regions carrying insignificant information, thereby increasing the accuracy and sensitivity of segmentation. This structure has been shown to provide high accuracy in 2D medical images (e.g. skin lesions and the retina) (Wu et al., 2019).

3.9. Dense V-Net

Dense V-Net 2D is a segmentation architecture that integrates the dense connection structure of DenseNet into the V-Net architecture. The output of each layer is passed to all subsequent layers, thereby increasing the reusability of features and improving the flow of information within the network. In medical segmentation scenarios involving limited data, parameter efficiency and learning success are significantly enhanced (Gibson et al., 2018).

3.10. Attention Res V-Net

The Attention Res-VNet model was developed by integrating attention mechanisms into the V-Net architecture with residual connections. This structure retains the residual nature of the skip connections within the encoder–decoder architecture, while also filtering information by incorporating attention gates that focus on significant regions. This enables the model to concentrate on more meaningful spatial features while suppressing irrelevant information.

3.11. Attention Dense V-Net

The Attention Dense-VNet is a hybrid model that combines dense connections and attention mechanisms with the V-Net architecture. Dense blocks maximize feature sharing by passing the output of each layer to all subsequent layers, and attention gates allow the network to focus only on meaningful regions. This structure produces powerful results, particularly for multi-class or multi-scale segmentation problems.

3.12. Dense Attention V-Net

The Dense Attention-VNet architecture is a segmentation model in which dense blocks are positioned within the encoder and decoder sections, with attention gates present at each skip connection. This model enables both dense information flow and careful information selection to be performed simultaneously.

3.13. Res Dense V-Net

ResDense-VNet is an advanced segmentation architecture that incorporates dense connections within each block, along with residual connections. Residual-dense structures are used within the encoder and decoder blocks, while these blocks are connected to each other in a classic V-Net arrangement.

4. FINDINGS AND CONCLUSIONS

The segmentation methods were applied to both the HAM 10000 and the ISIC 2018 datasets. First, each dataset was processed without preprocessing; then, the segmentation methods were applied to the preprocessed data.

The pre-processing methods used were hair removal, contrast enhancement and Gaussian blur. For segmentation, the datasets were processed using 50, 100 or 200 epochs and the 'Early Stopping' technique. The HAM 10000 dataset was split into training (70%), validation (15%),

and test (15%) data, while the ISIC 2018 dataset was predefined with 2595 data points for training, 1001 for testing, and 101 for validation.

Thirteen different segmentation architectures were created. The segmentation results were evaluated using the Dice, Jaccard and accuracy evaluation metrics.

Figure 1 shows the first image from the HAM10000 dataset; the second image shows the mask of the actual image; and the third image shows the mask obtained from the test result.

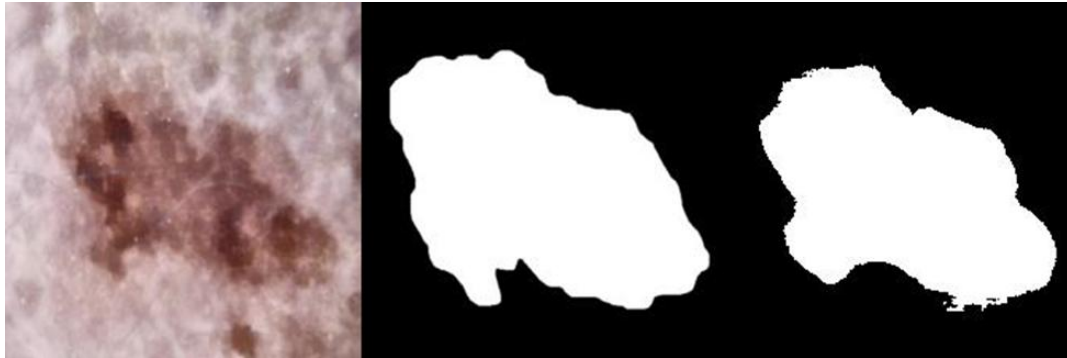


Figure 1(a) HAM10000 Dataset Ground Truth-Mask-Prediction Mask Image

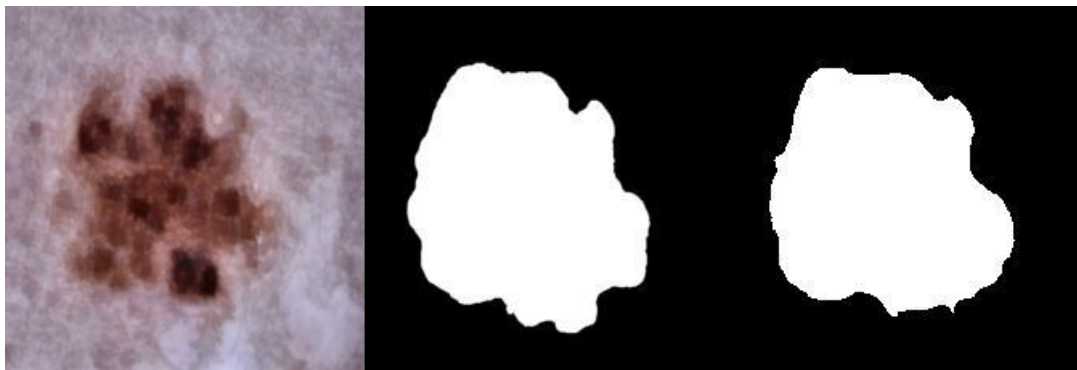


Figure 1(b) HAM10000 Dataset Ground Truth-Mask-Prediction Mask Image

Tables 1 and 2 show the results obtained from segmenting the HAM 10000 dataset using all models.

Table 1 HAM 10000 Dataset UNet Models Results

HAM10000 Dataset								
Models	Epoch	Without preprocessing			Epoch	With preprocessing		
		Dice	Jaccard	Accuracy		Dice	Jaccard	Accuracy
Unet	50	0.917	0.836	0.947	50	0.917	0.836	0.948
	100	0.917	0.832	0.957	100	0.919	0.834	0.956
	200	0.920	0.851	0.961	200	0.922	0.851	0.961
	22	0.908	0.835	0.945	16	0.913	0.842	0.946
Att-Unet	50	0.921	0.857	0.948	50	0.918	0.850	0.947
	100	0.921	0.858	0.948	100	0.925	0.851	0.949
	200	0.931	0.867	0.950	200	0.929	0.856	0.951
	19	0.920	0.854	0.947	19	0.914	0.844	0.947
Dense-Unet	50	0.904	0.827	0.946	50	0.900	0.823	0.940
	100	0.913	0.829	0.948	100	0.909	0.828	0.943
	200	0.915	0.840	0.960	200	0.908	0.837	0.948
	40	0.904	0.828	0.947	41	0.899	0.821	0.939
Res-Unet	50	0.923	0.867	0.945	50	0.926	0.860	0.942
	100	0.930	0.870	0.950	100	0.930	0.866	0.949
	200	0.935	0.875	0.965	200	0.931	0.871	0.952
	14	0.923	0.861	0.942	11	0.919	0.855	0.939
Unet++	50	0.914	0.850	0.946	50	0.918	0.852	0.950
	100	0.925	0.850	0.951	100	0.923	0.853	0.952
	200	0.930	0.851	0.954	200	0.931	0.853	0.957
	10	0.914	0.844	0.946	9	0.917	0.848	0.948

Table 2 HAM 10000 Dataset VNet Models Results

HAM10000 Dataset								
Models	Epoch	Without preprocessing			Epoch	With preprocessing		
		Dice	Jaccard	Accuracy		Dice	Jaccard	Accuracy
Vnet	50	0.901	0.824	0.941	50	0.900	0.818	0.931
	100	0.904	0.824	0.941	100	0.902	0.820	0.934
	200	0.910	0.831	0.945	200	0.909	0.822	0.942
	32	0.899	0.821	0.940	21	0.895	0.813	0.936
Att-Vnet	50	0.921	0.858	0.951	50	0.919	0.847	0.948
	100	0.923	0.860	0.952	100	0.919	0.857	0.948
	200	0.934	0.869	0.961	200	0.928	0.864	0.956
	29	0.920	0.854	0.949	35	0.915	0.846	0.946
Dense-Vnet	50	0.904	0.830	0.943	50	0.900	0.823	0.939
	100	0.911	0.830	0.947	100	0.901	0.828	0.942
	200	0.918	0.841	0.960	200	0.908	0.835	0.948
	41	0.904	0.828	0.942	45	0.900	0.822	0.937
Res-Vnet	50	0.900	0.818	0.935	50	0.900	0.825	0.937
	100	0.907	0.831	0.938	100	0.905	0.828	0.941
	200	0.912	0.834	0.950	200	0.910	0.831	0.954
	26	0.893	0.813	0.934	33	0.898	0.823	0.939
Att-Res-Vnet	50	0.916	0.871	0.948	50	0.909	0.864	0.947
	100	0.915	0.845	0.952	100	0.909	0.839	0.946
	200	0.920	0.851	0.957	200	0.917	0.848	0.956
	33	0.909	0.838	0.944	39	0.906	0.834	0.942
Att-Dense-Vnet	50	0.903	0.835	0.943	50	0.904	0.840	0.947
	100	0.911	0.840	0.941	100	0.913	0.854	0.948
	200	0.911	0.840	0.951	200	0.913	0.850	0.953
	26	0.902	0.828	0.940	31	0.907	0.837	0.943
Dense-Att-Vnet	50	0.897	0.809	0.937	50	0.887	0.802	0.934
	100	0.896	0.814	0.942	100	0.890	0.808	0.935
	200	0.901	0.813	0.948	200	0.900	0.809	0.942
	43	0.893	0.810	0.937	45	0.885	0.798	0.932
Res-Dense-Vnet	50	0.909	0.843	0.946	50	0.899	0.820	0.939
	100	0.910	0.850	0.952	100	0.905	0.820	0.942
	200	0.911	0.851	0.956	200	0.910	0.835	0.948

	20	0.907	0.833	0.945	19	0.895	0.813	0.937

When evaluating the segmentation results for the HAM10000 dataset, among the U-Net models, the highest success rate without data preprocessing was achieved by the Res U-Net model, while among the V-Net models, the highest success rate was achieved by the Att V-Net model. Similarly, among U-Net models, the highest success rate with data preprocessing was achieved by the Res U-Net model, while among V-Net models, the highest success rate was achieved by the Att V-Net model.

Figure 2 shows the first image from the ISIC 2018 dataset as the actual image, the second image as the mask of the actual image, and the third image as the mask obtained from the test results. Tables 3 and 4 show the results obtained from the segmentation of the ISIC 2018 dataset with all models.

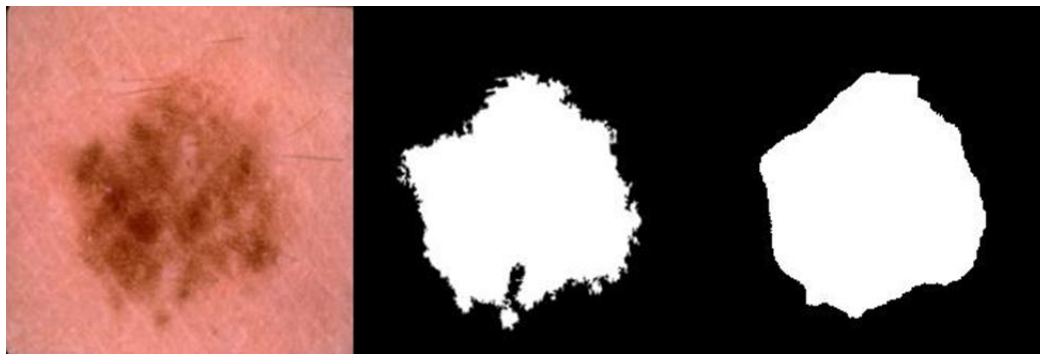


Figure 2(a) ISIC 2018 Dataset Ground Truth-Mask-Prediction Mask Image

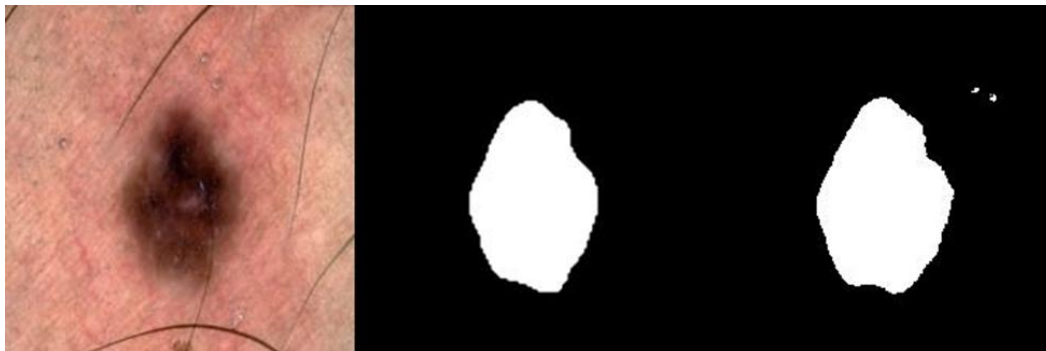


Figure 2(b) ISIC 2018 Dataset Ground Truth-Mask-Prediction Mask Image

Table 3 ISIC 2018 Dataset UNet Models Results

ISIC 2018 Dataset								
Models	Epoch	Without preprocessing			Epoch	With preprocessing		
		Dice	Jaccard	Accuracy		Dice	Jaccard	Accuracy
Unet	50	0.855	0.739	0.929	50	0.855	0.739	0.930
	100	0.855	0.736	0.940	100	0.857	0.737	0.938
	200	0.858	0.752	0.944	200	0.860	0.752	0.943
	22	0.847	0.738	0.928	16	0.851	0.744	0.928
Att-Unet	50	0.855	0.758	0.909	50	0.852	0.751	0.908
	100	0.855	0.758	0.909	100	0.858	0.752	0.910
	200	0.864	0.766	0.911	200	0.862	0.757	0.912
	19	0.854	0.755	0.908	19	0.848	0.746	0.908
Dense-Unet	50	0.841	0.728	0.908	50	0.837	0.724	0.902
	100	0.849	0.729	0.910	100	0.846	0.728	0.905
	200	0.851	0.739	0.922	200	0.845	0.736	0.910
	40	0.841	0.728	0.909	41	0.837	0.722	0.901
Res-Unet	50	0.861	0.759	0.909	50	0.864	0.753	0.906
	100	0.867	0.762	0.913	100	0.868	0.758	0.912
	200	0.872	0.766	0.928	200	0.869	0.763	0.916
	14	0.861	0.754	0.906	11	0.857	0.748	0.903
Unet++	50	0.852	0.751	0.908	50	0.856	0.753	0.912
	100	0.863	0.751	0.913	100	0.860	0.754	0.914

	200	0.86 7	0.752	0.916	200	0.86 8	0.754	0.918
	10	0.85 2	0.746	0.908	9	0.85 5	0.750	0.910

Table 4 ISIC 2018 Dataset VNet Models Results

ISIC 2018 Dataset								
Models	Epoch	Without preprocessing			Epoch	With preprocessing		
		Dice	Jaccard	Accuracy		Dice	Jaccard	Accuracy
Vnet	50	0.83 7	0.727	0.904	50	0.83 5	0.722	0.894
	100	0.84 0	0.727	0.905	100	0.83 8	0.724	0.897
	200	0.84 5	0.734	0.908	200	0.84 4	0.726	0.905
	32	0.83 5	0.725	0.903	21	0.83 1	0.718	0.900
Att-Vnet	50	0.85 8	0.757	0.916	50	0.85 6	0.747	0.913
	100	0.85 9	0.759	0.917	100	0.85 6	0.756	0.913
	200	0.87 0	0.767	0.926	200	0.86 4	0.762	0.920
	29	0.85 7	0.754	0.914	35	0.85 2	0.747	0.911
Dense-Vnet	50	0.83 9	0.730	0.910	50	0.83 5	0.725	0.906
	100	0.84 6	0.731	0.915	100	0.83 6	0.728	0.909
	200	0.85 1	0.740	0.927	200	0.84 2	0.735	0.915
	41	0.83 9	0.729	0.909	45	0.83 5	0.723	0.904
Res-Vnet	50	0.83 5	0.718	0.898	50	0.83 5	0.724	0.900
	100	0.84 2	0.729	0.901	100	0.84 0	0.727	0.904
	200	0.84 7	0.732	0.913	200	0.84 5	0.729	0.917
	26	0.82 9	0.714	0.897	33	0.83 4	0.722	0.902

Att-Res-Vnet	50	0.84 9	0.766	0.914	50	0.84 2	0.760	0.913
	100	0.84 8	0.742	0.918	100	0.84 2	0.737	0.912
	200	0.85 2	0.748	0.922	200	0.85 0	0.745	0.922
	33	0.84 2	0.736	0.910	39	0.84 0	0.733	0.908
Att-Dense-Vnet	50	0.83 8	0.737	0.905	50	0.83 9	0.742	0.909
	100	0.84 6	0.742	0.904	100	0.84 8	0.754	0.911
	200	0.84 6	0.742	0.914	200	0.84 7	0.750	0.916
	26	0.83 7	0.731	0.903	31	0.84 2	0.739	0.906
Dense-Att-Vnet	50	0.83 7	0.706	0.898	50	0.82 8	0.699	0.895
	100	0.83 6	0.709	0.902	100	0.83 1	0.705	0.896
	200	0.84 1	0.708	0.908	200	0.84 0	0.705	0.903
	43	0.83 3	0.706	0.898	45	0.82 6	0.696	0.893
Res-Dense-Vnet	50	0.84 0	0.744	0.907	50	0.83 1	0.724	0.900
	100	0.84 1	0.750	0.913	100	0.83 6	0.724	0.903
	200	0.84 2	0.752	0.916	200	0.84 1	0.737	0.909
	20	0.83 8	0.735	0.906	19	0.82 7	0.718	0.898

When evaluating the segmentation results for the ISIC 2018 dataset, the Res U-Net model achieved the highest success rate without data preprocessing among the U-Net models, while the Att V-Net model achieved the highest success rate among the V-Net models. Similarly, the Res U-Net model achieved the highest success rate with data preprocessing, while the Att V-Net model achieved the highest success rate without data preprocessing.

The application results obtained were then compared with the results of other studies in the literature. Table 5 shows segmentation studies related to the ISIC 2018 dataset and Table 6 shows those related to the HAM 10000 dataset.

Table 5 ISIC 2018 Data Set Literature Comparison

Research	Models	Dice	Jaccard
(Y. Li vd., 2022)	MHAU-NET	0.94	0.88
(Alhudhaif vd., 2022)	Fusion Model	0.92	0.84
(Arora vd., 2021)	Attn-U-Net + GN	0.91	0.83
(Ruan vd., 2023)	EGEU-NET	0.89	0.80
(Ruan vd., 2022)	MALU-NET	0.88	0.80
(Yuan vd., 2024)	UCM-Net	0.88	0.81
(Barın & Güraksın, 2022)	FCN-ResAlexNet	0.87	0.77
(Jafari vd., 2020)	DRU-NET	0.86	0.76
Our Model	AttVNet	0.86	0.76

Table 6 HAM 10000 Data Set Literature Comparison

Research	Models	Dice	Jaccard
(Siddique vd., 2022)	EFU-NET	0.92	0.86
(Shrestha vd., 2023)	DeepLabV3+	-	0.92
Our Model	AttVNet	0.91	0.84

HAM10000 and ISIC 2018 datasets to analyze their effectiveness in skin lesion segmentation. The experiments were conducted under two different conditions: with and without preprocessing techniques, including hair removal, contrast enhancement, and Gaussian blur filtering. The results showed that preprocessing generally improved segmentation performance across most models. Among the U-Net-based architectures, the Res U-Net model achieved the highest performance on the HAM10000 dataset, with 92.3% Dice, 86.1% Jaccard, and 94.2% accuracy. The same model also demonstrated the best performance on the ISIC 2018 dataset, achieving 86.1% Dice, 75.4% Jaccard, and 90.6% accuracy.

Among the V-Net-based architectures, the Attention V-Net (Att V-Net) model achieved the highest performance on the HAM10000 dataset, with 92% Dice, 85% Jaccard, and 94.6% accuracy. Similarly, on the ISIC 2018 dataset, the same model produced the best segmentation results with 85% Dice, 75% Jaccard, and 91% accuracy.

Although the proposed models achieved reliable segmentation results, their success rates remained slightly lower than some studies reported in the literature. This difference may be related to challenges such as dataset imbalance and limited feature representation. Future studies may focus on addressing the imbalance problem in dermoscopic datasets and integrating advanced feature extraction techniques to further improve segmentation performance. In addition, incorporating more advanced deep learning architectures and data augmentation strategies may enhance the robustness and accuracy of the models.

KAYNAKÇA

1. Alhudhaif, A., Almaslukh, B., Aseeri, A. O., Guler, O., & Polat, K. (2023). A novel nonlinear automated multi-class skin lesion detection system using soft-attention based convolutional neural networks. *Chaos, Solitons & Fractals*, 170, 113409. <https://doi.org/10.1016/J.CHAOS.2023.113409>
2. Alhudhaif, A., Ocal, H., Barisci, N., Atacak, İ., Nour, M., & Polat, K. (2022). A Novel Approach to Skin Lesion Segmentation: Multipath Fusion Model with Fusion Loss. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2022(1), 2157322. <https://doi.org/10.1155/2022/2157322>
3. Arora, R., Raman, B., Nayyar, K., & Awasthi, R. (2021). Automated skin lesion segmentation using attention-based deep convolutional neural network. *Biomedical Signal Processing and Control*, 65, 102358. <https://doi.org/10.1016/J.BSPC.2020.102358>
4. Barın, S., & Güraksın, G. E. (2022). An automatic skin lesion segmentation system with hybrid FCN-ResAlexNet. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 101174. <https://doi.org/10.1016/J.JESTCH.2022.101174>
5. Brinker, T. J., Hekler, A., Enk, A. H., & von Kalle, C. (2019). Enhanced classifier training to improve precision of a convolutional neural network to identify images of skin lesions. *PLoS ONE*, 14(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218713>
6. Chaturvedi, S. S., Tembhurne, J. V., & Diwan, T. (2020). A multi-class skin Cancer classification using deep convolutional neural networks. *Multimedia Tools and Applications*, 79(39-40), 28477-28498. <https://doi.org/10.1007/S11042-020-09388-2>
7. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115-118. <https://doi.org/10.1038/NATURE21056>
8. Gershenwald, J. E., Scolyer, R. A., Hess, K. R., Sondak, V. K., Long, G. V., Ross, M. I., Lazar, A. J., Faries, M. B., Kirkwood, J. M., McArthur, G. A., Haydu, L. E., Eggermont, A. M. M., Flaherty, K. T., Balch, C. M., & Thompson, J. F. (2017). Melanoma staging: Evidence-based changes in the American Joint Committee on Cancer eighth edition cancer staging manual. *CA Cancer Journal for Clinicians*, 67(6), 472-492. <https://doi.org/10.3322/caac.21409>
9. Gibson, E., Giganti, F., Hu, Y., Bonmati, E., Bandula, S., Gurusamy, K., Davidson, B., Pereira, S. P., Clarkson, M. J., & Barratt, D. C. (2018). Automatic Multi-Organ Segmentation on Abdominal CT with Dense V-Networks. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(8), 1822-1834. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2806309>
10. Grob, J. J., Schadendorf, D., Lorigan, P., Ascierto, P., Larkin, J., Nathan, P., Robert, C., Hauschild, A., Weber, J., Daud, A., Hamid, O., Dummer, R., Hansson, J., Hoeller, C., Schachter, J., Van Akkooi, A. C. J., & Garbe, C. (2018). Eighth American Joint Committee on Cancer (AJCC) melanoma classification: Let us reconsider stage III. *Volume 91, Pages 168 - 170*, 91, 168-170. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2017.11.023>
11. Jafari, M., Auer, D., Francis, S., Garibaldi, J., & Chen, X. (2020). DRU-Net: An Efficient Deep Convolutional Neural Network for Medical Image Segmentation.

Proceedings - International Symposium on Biomedical Imaging, 2020-April, 1144-1148. <https://doi.org/10.1109/ISBI45749.2020.9098391>

12. Jones, O. T., Matin, R. N., van der Schaar, M., Prathivadi Bhayankaram, K., Ranmuthu, C. K. I., Islam, M. S., Behiyat, D., Boscott, R., Calanzani, N., Emery, J., Williams, H. C., & Walter, F. M. (2022). Artificial intelligence and machine learning algorithms for early detection of skin cancer in community and primary care settings: a systematic review. *The Lancet Digital Health*, 4(6), e466-e476. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00023-1)
13. Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
14. Li, X., Chen, H., Qi, X., Dou, Q., Fu, C. W., & Heng, P. A. (2018). H-DenseUNet: Hybrid Densely Connected UNet for Liver and Tumor Segmentation from CT Volumes. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(12), 2663-2674. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2845918>
15. Li, Y., Xu, C., Han, J., An, Z., Wang, D., Ma, H., & Liu, C. (2022). MHAU-Net: Skin Lesion Segmentation Based on Multi-Scale Hybrid Residual Attention Network. *Sensors*, 22(22). <https://doi.org/10.3390/S22228701>
16. Milletari, F., Navab, N., & Ahmadi, S. A. (2016). V-Net: Fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation. *Proceedings - 2016 4th International Conference on 3D Vision, 3DV 2016*, 565-571. <https://doi.org/10.1109/3DV.2016.79>
17. Polat, O. (2022). Sadeleştirilmiş U-Net mimarisi ile beyin tümörü segmentasyonu. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1111082>
18. Ruan, J., Xiang, S., Xie, M., Liu, T., & Fu, Y. (2022). MALUNet: A Multi-Attention and Light-weight UNet for Skin Lesion Segmentation. *Proceedings - 2022 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine, BIBM 2022*, 1150-1156. <https://doi.org/10.1109/BIBM55620.2022.9995040>
19. Ruan, J., Xie, M., Gao, J., Liu, T., & Fu, Y. (2023). EGE-UNet: An Efficient Group Enhanced UNet for Skin Lesion Segmentation. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 14223 LNCS, 481-490. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43901-8_46/FIGURES/4
20. Sauter, D., Lodde, G., Nensa, F., Schadendorf, D., Livingstone, E., & Kukuk, M. (2023). Deep learning in computational dermatopathology of melanoma: A technical systematic literature review. *Computers in Biology and Medicine*, 163, 107083. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.107083>
21. Shrestha, H., Jaganathan, S. C. B., Dhasarathan, C., & Suriyan, K. (2023). Detection and classification of dermatoscopic images using segmentation and transfer learning. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/S11042-023-14752-Z>
22. Siddique, N., Paheding, S., Reyes Angulo, A. A., Alom, Md. Z., & Devabhaktuni, V. K. (2022). Fractal, recurrent, and dense U-Net architectures with EfficientNet encoder for medical image segmentation. *Journal of Medical Imaging*, 9(6), 064004. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.9.6.064004>

23. Tian, J., Li, C., Shi, Z., & Xu, F. (2018). A diagnostic report generator from CT volumes on liver tumor with semi-supervised attention mechanism. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11071 LNCS, 702-710. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00934-2_78/FIGURES/3
24. Tschandl, P., Rosendahl, C., & Kittler, H. (2018). Data Descriptor: The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions Background & Summary. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.161>
25. Türk, F., Lüy, M., & Barışçı, N. (2020). Kidney and Renal Tumor Segmentation Using a Hybrid V-Net-Based Model. *Mathematics*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/math8101772>
26. Wu, X., Udupa, J. K., Tong, Y., Odhner, D., Pednekar, G. V., Simone, C. B., McLaughlin, D., Apinorasethkul, C., Apinorasethkul, O., Lukens, J., Mihailidis, D., Shammo, G., James, P., Tiwari, A., Wojtowicz, L., Camaratta, J., & Torigian, D. A. (2019). AAR-RT – A system for auto-contouring organs at risk on CT images for radiation therapy planning: Principles, design, and large-scale evaluation on head-and-neck and thoracic cancer cases. *Medical Image Analysis*, 54, 45-62. <https://doi.org/10.1016/J.MEDIA.2019.01.008>
27. Yuan, C., Zhao, D., & Agaian, S. S. (2024). UCM-Net: A lightweight and efficient solution for skin lesion segmentation using MLP and CNN. *Biomedical Signal Processing and Control*, 96, 106573. <https://doi.org/10.1016/J.BSPC.2024.106573>
28. Zhang, Z., Liu, Q., & Wang, Y. (2018). Road Extraction by Deep Residual U-Net. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(5), 749-753. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2802944>
29. Zhou, Z., Siddiquee, M. M. R., Tajbakhsh, N., & Liang, J. (2020). UNet++: Redesigning Skip Connections to Exploit Multiscale Features in Image Segmentation. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39(6), 1856-1867. <https://doi.org/10.1109/TMI.2019.295960>

MRI GÖRÜNTÜLERİNDE VİT-S/16 VE RESNET50 İLE BEYİN TÜMÖRÜ TESPİTİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammed Yusuf İTMİŞ

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
251137106@firat.edu.tr - 0009-0008-1292-8638

Doç. Dr. Feyza ALTUNBEY ÖZBAY

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü
faltunbey@firat.edu.tr - 0000-0003-0629-6888

Doç. Dr. Erdal ÖZBAY

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
erdalozbay@firat.edu.tr - 0000-0002-9004-4802

ÖZET

Beyin tümörleri, erken teşhis edilmediğinde yüksek mortalite ve morbiditeye yol açan ciddi bir sağlık sorunudur. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) temel tanı aracı olsa da, manuel analiz sübjektif, zaman alıcı ve uzman bağımlıdır. Bu çalışmada, beyin tümörlerinin otomatik sınıflandırılması amacıyla ResNet50 ve Vision Transformer (ViT-S/16) modellerinin karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Kaggle platformundan elde edilen toplam 7023 MRI görüntüsü kullanılmıştır. Veri seti %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olarak bölünmüştür. Performansı artırmak amacıyla transfer öğrenme, ImageNet ön eğitimi ve çeşitli veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, ResNet50 modelinin test setinde %97 doğruluk elde ettiğini, ViT-S/16 modelinin ise %99,05 doğruluk oranı ile daha üstün performans sergilediğini göstermektedir. ViT-S/16 modeline ait sınıf bazlı değerlendirme metrikleri 0,98-1,00 aralığında gerçekleşmiştir. Eğitim eğrileri, transformer tabanlı modelin daha hızlı yakınsama sağladığını ve daha düşük overfitting eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Karmaşıklık matrisi analizleri, yanlış sınıflandırmaların oldukça sınırlı olduğunu ve özellikle meningeoma sınıfında az sayıda karışıklık yaşandığını göstermektedir. Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik analizi ise ViT-S/16 modelinin tümör bölgelerine ve çevresel bağlama daha tutarlı ve global olarak odaklandığını doğrulamıştır. Elde edilen bulgular, önerilen ViT-S/16 yaklaşımının literatürde bildirilen yüksek performanslı yöntemler arasında yer aldığını ve otomatik beyin tümörü sınıflandırmasında klinik karar destek aracı olarak önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Beyin Tümörü, Derin Öğrenme, ResNet50, Vision Transformer, Grad-CAM, Medikal Görüntü İşleme

1. GİRİŞ

Beyin tümörleri, merkezi sinir sistemi kanserleri arasında en agresif ve ölümcül hastalıklar arasında yer almakta olup, dünya genelinde önemli bir halk sağlığı problemi oluşturmaktadır. Küresel kanser istatistiklerine göre, her yıl dünya genelinde yüz binlerce yeni beyin ve merkezi sinir sistemi tümörü vakası teşhis edilmekte ve bu vakaların önemli bir kısmını glioma ve meningioma gibi yüksek dereceli tümörler oluşturmaktadır [1]. Erken teşhis, cerrahi rezeksiyon, radyoterapi ve kemoterapi gibi tedavi yöntemlerinin etkinliğini artırırken, gecikmiş tanı durumlarında mortalite ve morbidite oranları belirgin biçimde yükselmektedir. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI), beyin tümörlerinin anatomik lokalizasyonu, boyutu, çevresel ödem durumu ve kontrast tutulumu gibi özelliklerinin değerlendirilmesinde klinik pratikte altın standart yöntem olarak kabul edilmektedir [2]. Bununla birlikte, MRI görüntülerinin manuel olarak yorumlanması hem zaman alıcı hem de gözlemciye bağımlı bir süreçtir ve gözlemci içi ile gözlemciler arası değişkenlikler tanısal tutarlılığı olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sınırlamalar, otomatik ve nesnel karar destek sistemlerine olan ihtiyacı giderek artırmıştır.

Son yıllarda derin öğrenme tabanlı yöntemler, medikal görüntü analizi alanında önemli başarılar elde etmiştir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN), görüntülerden hiyerarşik özellikler çıkarma konusundaki başarıları sayesinde beyin tümörü sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, artık katmanları (residual blocks) içeren ResNet mimarisi, derin ağların daha kararlı ve etkili biçimde eğitilmesini mümkün kılarak literatürde geniş kabul görmüştür [3]. Bununla birlikte, CNN tabanlı mimariler ağırlıklı olarak lokal alıcı alanlara dayalı çalıştığından, görüntü genelindeki uzun menzilli bağlamsal ilişkileri modelleme konusunda yapısal sınırlılıklara sahiptir. Bu sınırlamaları aşmak amacıyla geliştirilen Vision Transformer (ViT) mimarisi, çok başlı öz-dikkat (multi-head self-attention) mekanizması sayesinde tüm görüntü boyunca küresel bağlamı modelleyebilmekte ve bilgisayarlı görü problemlerinde dikkat çekici başarılar elde etmektedir [4]. Öte yandan, derin öğrenme modellerinin klinik uygulamalarda kullanılabilmesi için yalnızca yüksek doğruluk elde etmeleri yeterli değildir; aynı zamanda verdikleri kararların yorumlanabilir olması da büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla geliştirilen Grad-CAM yöntemi, ağırlık karar verme sürecinde görüntünün hangi bölgelerine odaklandığını görselleştirmeye imkân tanıyarak, modellerin klinik açıdan daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [5].

Literatürde, beyin tümörü sınıflandırmasına yönelik birçok çalışma CNN tabanlı mimariler üzerine yoğunlaşmıştır. Cheng ve arkadaşları, tümör bölgesi artırma ve bölme stratejileri kullanarak uzamsal piramit eşleştirme (SPM) ve destek vektör makinesi (SVM) tabanlı bir yaklaşım önermiş ve %91 doğruluk elde etmiştir [6]. Swati ve arkadaşları, ResNet50 mimarisini transfer learning yaklaşımı ile kullanarak %94.82 doğruluk rapor etmiş, ancak veri setinin sınırlı büyüklüğünün genelleme kabiliyeti üzerinde olumsuz etki yarattığını vurgulamıştır [7].

Son yıllarda transformer tabanlı mimarilerin medikal görüntüleme alanındaki kullanımına yönelik ilgi hızla artmıştır. Bu alandaki kapsamlı derleme çalışmaları, transformer mimarilerinin özellikle karmaşık yapısal örüntülerin modellenmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [8]. Ayrıca, UNETR gibi transformer tabanlı mimarilerin medikal görüntü segmentasyonu problemlerinde de başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir [9].

Literatürde hem CNN hem de Transformer tabanlı yaklaşımlar üzerine birçok çalışma bulunmasına rağmen, bu iki mimari ailesinin aynı veri seti ve aynı deneysel koşullar altında doğrudan ve kapsamlı biçimde karşılaştırıldığı çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca, çoğu çalışmada yalnızca genel doğruluk değerleri rapor edilmekte, eğitim dinamikleri, hata örüntüleri ve açıklanabilirlik analizleri yeterince ayrıntılı biçimde ele alınmamaktadır. Bu çalışma, ResNet50 ve ViT-S/16 modellerini aynı veri seti ve aynı ön işleme protokolü altında karşılaştırmalı olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Modeller yalnızca nicel performans metrikleri açısından değil, aynı zamanda eğitim dinamikleri, karmaşıklık matrisi temelli hata örüntüsü değerlendirmeleri ve Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik incelemeleri üzerinden analiz edilmiştir. Böylece transformer tabanlı yaklaşımların otomatik beyin tümörü sınıflandırmasında klinik karar destek sistemleri açısından sunduğu potansiyel bütüncül bir perspektifle ortaya konulmuştur.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Beyin tümörü sınıflandırması, son yıllarda medikal görüntü analizi alanında derin öğrenme tabanlı yöntemlerin en yoğun uygulandığı araştırma konularından biri hâline gelmiştir. İlk dönem çalışmaların büyük bir kısmı, geleneksel makine öğrenmesi ve CNN tabanlı hiyerarşik özellik çıkarma yeteneğinden yararlanarak tümörlü ve sağlıklı dokuların ayırımına odaklanmıştır. Bu alandaki öncü çalışmalardan biri olan Cheng ve arkadaşları, tümör bölgesinin büyütülmesi ve alt bölgelere ayrılması stratejisine dayalı, uzamsal piramit eşleştirme (SPM) ve destek vektör makinesi (SVM) kullanan bir yaklaşım önermiş ve %91 doğruluk elde etmiştir [6]. Bu çalışma, tümör çevresindeki lokal yapısal bilgilerin sınıflandırma performansına önemli katkı sağladığını göstermiştir. Daha sonraki çalışmalarda, transfer learning yaklaşımının medikal görüntü analizi problemlerinde etkin biçimde kullanılabileceği ortaya konmuştur. Swati ve arkadaşları, ImageNet üzerinde ön-eğitilmiş ResNet50 mimarisini MRI görüntülerine uyarlayarak %94.82 doğruluk elde etmiş, ancak veri setinin sınırlı büyüklüğünün modelin genelleme kabiliyeti üzerinde olumsuz etki yarattığını belirtmiştir [7].

CNN tabanlı yaklaşımlar yüksek başarımlar elde etmiş olmakla birlikte, bu mimarilerin ağırlıklı olarak lokal alıcı alanlara dayalı çalışması, görüntü genelindeki uzun menzilli bağlamsal ilişkilerin modellenmesini sınırlamaktadır. Bu yapısal sınırlılığı aşmak amacıyla, son yıllarda transformer tabanlı mimariler medikal görüntüleme alanında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu eğilimi özetleyen kapsamlı derleme çalışmaları, transformer tabanlı yaklaşımların medikal görüntü analizinde sunduğu avantajları ve potansiyel kullanım alanlarını ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur [8].

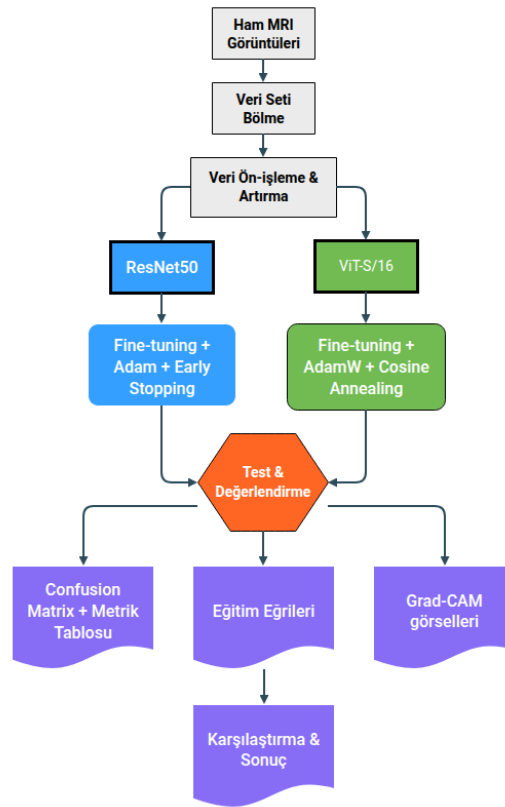
Transformer tabanlı mimarilerin medikal görüntü işleme alanındaki erken ve dikkat çekici uygulamalarından biri olan UNETR modeli, üç boyutlu medikal görüntü segmentasyonu problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmiş ve global bağlam bilgisinin modellenmesinin önemini göstermiştir [9]. Bu tür yaklaşımlar, yalnızca lokal özelliklere değil, görüntünün tamamına yayılan daha bütüncül temsillerin öğrenilebileceğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, literatürdeki çalışmaların önemli bir kısmının görece küçük veri setleri üzerinde değerlendirildiği veya yalnızca tek bir mimari ailesine odaklandığı görülmektedir. Ayrıca, birçok çalışmada yalnızca genel doğruluk değerleri rapor edilmekte; eğitim

dinamikleri, sınıf bazlı hata örüntüleri ve açıklanabilirlik analizleri yeterince ayrıntılı biçimde ele alınmamaktadır. Bu bağlamda, ResNet50 gibi güçlü bir CNN tabanlı mimari ile ViT-S/16 gibi modern bir Transformer tabanlı mimarinin, aynı veri seti ve aynı deneysel koşullar altında doğrudan karşılaştırılması yalnızca performans metrikleri açısından değil, aynı zamanda genelleme kabiliyeti ve açıklanabilirlik açısından da daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışma, literatürdeki bu boşluğu doldurmayı ve transformer tabanlı yaklaşımların beyin tümörü sınıflandırma problemindeki gerçek potansiyelini daha net biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada beyin tümörü tespiti için önerilen yaklaşımın akış diyagramı Görsel 1'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere, ham MRI görüntüleri öncelikle veri bölme aşamasından geçirilmekte, ardından ön işleme ve artırma teknikleri uygulanmaktadır. Daha sonra ResNet50 ve ViT-S/16 modelleri paralel olarak eğitilmekte, performans metrikleri hesaplanmakta ve son olarak Grad-CAM ile açıklanabilirlik analizi gerçekleştirilmektedir.



Görsel 1. Önerilen metodun genel akış şeması

3.1. Veri Seti

Bu çalışmada, Kaggle platformu üzerinden elde edilen [10] ve glioma, meningioma, pituitary ve nöroşüm olmak üzere 4 sınıftan oluşan toplam 7023 adet beyin MRI görüntüsü kullanılmıştır. Görüntüler klinik pratikte yaygın olarak kullanılan kontrastlı T1-ağırlıklı kesitlerden oluşmaktadır. Veri集中的 sınıf bazlı örnek dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, veri seti sınıflar arasında görece dengeli bir dağılıma sahiptir.

Deneyisel değerlendirilmede adil ve güvenilir bir karşılaştırma sağlamak amacıyla veri seti %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test alt kümelerine ayrılmıştır. Bu bölme stratejisi, modellerin hem öğrenme sürecindeki davranışlarını hem de daha önce hiç görmedikleri veriler üzerindeki genelleme kabiliyetlerini nesnel biçimde ölçmeyi amaçlamaktadır. Sınıf dengesizliğinden kaynaklanan önyargıyı gidermek amacıyla her sınıfa ait kayıp fonksiyonuna katkı, Denklem (1) ile gösterilmiştir. Burada w_c , c. sınıfa ait ağırlığı; N, toplam örnek sayısını; sınıf_c, c. sınıftaki örnek sayısını ve k, normalleştirme katsayısını (bu çalışmada $k=1$ olarak sabitlenmiştir) ifade etmektedir.

$$w_c =, \quad k = 1 \quad (1)$$

Çizelge 1. Veri setindeki sınıf bazlı örnek dağılımı

Sınıf	Görüntü Sayısı
Glioma	1621
Meningioma	1645
Pituitary	1757
No Tumor	2000
Toplam	7023

3.2. Veri Ön-işleme ve Artırma

Tüm görüntüler, kullanılan derin öğrenme mimarilerinin giriş katman gereksinimlerine uygun olacak şekilde 224×224 piksel çözünürlüğe yeniden ölçeklendirilmiş ve piksel değerleri [0,1] aralığına normalize edilmiştir. Eğitim veri kümesinin çeşitliliğini artırmak ve aşırı uyum riskini azaltmak amacıyla çeşitli veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Bu kapsamda rastgele yatay/dikey çevirme, küçük açısal döndürmeler, ölçekleme ve rastgele kırpma işlemleri kullanılmıştır. Veri artırma yalnızca eğitim kümesine uygulanmış, doğrulama ve test kümeleri üzerinde herhangi bir yapay dönüşüm gerçekleştirilmemiştir.

3.3. Model Mimarileri

3.3.1. ResNet50

ResNet50 modeli, artık (residual) bağlantılar sayesinde çok derin ağların daha kararlı biçimde eğitilmesini mümkün kılan bir konvolüsyonel sinir ağı mimarisidir [3]. Bu çalışmada, ImageNet veri seti üzerinde ön-eğitilmiş ResNet50 ağı transfer learning yaklaşımı ile kullanılmıştır. Orijinal ağın sınıflandırma katmanını çıkarılmış ve yerine dört sınıflı problem için yeni bir tam bağlantılı (fully connected) katman eklenmiştir. Erken katmanlar başlangıçta dondurulmuş, üst katmanlar ise ince ayar (fine-tuning) sürecinde eğitilmiştir.

3.3.2. Vision Transformer (ViT-S/16)

Vision Transformer (ViT) mimarisi, görüntüleri sabit boyutlu parçalara (patch) ayırarak bunları bir dizi (sequence) hâline getirir ve Transformer encoder yapısı üzerinden işler [4]. Bu çalışmada kullanılan ViT-S/16 modeli, 16×16 boyutunda patch'ler kullanan, görece daha hafif ancak yüksek temsil gücüne sahip bir transformer varyantıdır. Model, ImageNet üzerinde ön

eğitilmiş ağırlıklar ile başlatılmış ve son sınıflandırma katmanı dört sınıfa uyarlanmıştır. Tüm ağ uçtan uca (end-to-end) ince ayar (fine-tuning) ile eğitilmiştir.

3.4. Eğitim Süreci

ResNet50 ve ViT-S/16 için Google Colab ortamında, NVIDIA GPU desteği kullanılarak eğitilmiştir. Optimizasyon için AdamW algoritması kullanılmış ve başlangıç öğrenme oranı 1×10^{-4} olarak belirlenmiştir. Mini-batch boyutu 32 olarak ayarlanmıştır. Model çıktıları, çok sınıflı sınıflandırma problemi için Denklem (2)'de verilen softmax fonksiyonu kullanılarak olasılık değerlerine dönüştürülmüştür.

$$p_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^C e^{z_j}} \quad (2)$$

Burada z_i , i. sınıfa ait logit (ağın ham çıktısı) değerini, C toplam sınıf sayısını ve p_i , i. sınıfa ait tahmin edilen olasılığı ifade etmektedir. Eğitim sürecinde kayıp fonksiyonu olarak ise Denklem (3)'te tanımlanan kategorik çapraz entropi kullanılmıştır.

$$L = - \sum_{i=1}^C y_i \log(p_i) \quad (3)$$

Burada $y_i \in \{0,1\}$, gerçek etiketin one-hot kodlanmış gösterimindeki i'inci bileşeni ve p_i model tarafından i'inci sınıf için tahmin edilen olasılığı ifade etmektedir. Bu kayıp fonksiyonu, çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak tercih edilen ve olasılık dağılımlarını etkin biçimde optimize eden bir ölçüttür. Modeller, erken durdurma (early stopping) stratejisi ile eğitilmiş ve doğrulama kaybında belirli sayıda devir boyunca iyileşme gözlenmediğinde eğitim süreci sonlandırılmıştır. Bu yaklaşım, aşırı uyum riskini azaltmayı ve en iyi genelleme performansına sahip model ağırlıklarının elde edilmesini amaçlamaktadır.

3.5. Değerlendirme Metrikleri

Modellerin performansı doğruluk, hassasiyet, duyarlılık ve F1 skoru gibi yaygın sınıflandırma metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, sınıf bazlı hata örüntülerini analiz edebilmek için karmaşıklık matrisleri hesaplanmıştır. Modellerin öğrenme davranışlarını incelemek amacıyla eğitim ve doğrulama doğruluk/kayıp eğrileri kaydedilmiştir.

3.6. Açıklanabilirlik Analizi (Grad-CAM)

Derin öğrenme modellerinin karar verme süreçlerinin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla Grad-CAM yöntemi kullanılmıştır [5]. Bu yöntem sayesinde, modellerin sınıflandırma yaparken görüntünün hangi bölgelerine odaklandığı görselleştirilmiş ve özellikle tümör bölgeleri üzerindeki dikkat dağılımı nitel olarak analiz edilmiştir. Bu analiz, modellerin yalnızca yüksek doğruluk üretip üretmediğini değil, aynı zamanda klinik açıdan anlamlı bölgelere odaklanıp odaklanmadığını da değerlendirmeye olanak sağlamıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, ResNet50 ve ViT-S/16 modellerinin beyin tümörü sınıflandırma problemi üzerindeki performansları karşılaştırmalı olarak sunulmakta ve elde edilen bulgular hem nicel

metrikler hem de nitel analizler üzerinden değerlendirilmektedir. Modellerin öğrenme davranışları, genelleme kabiliyetleri ve sınıf bazlı hata örüntüleri; eğitim eğrileri, performans ölçütleri, karmaşıklık matrisleri ve Grad-CAM görselleştirmeleri yardımıyla analiz edilmiştir.

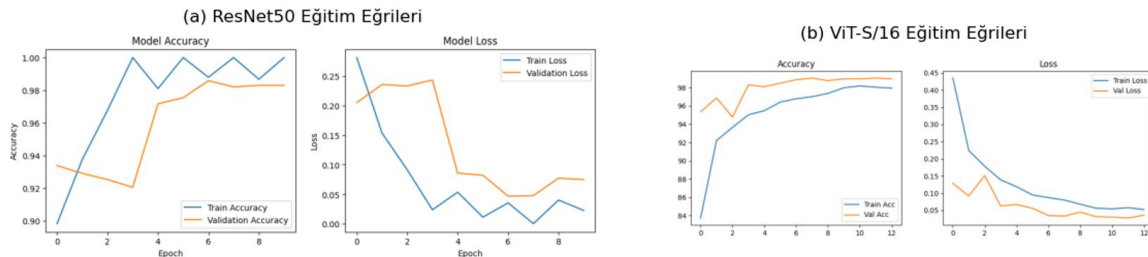
Her iki model, aynı eğitim, doğrulama ve test bölünmesi ile aynı ön işlem ve veri artırma stratejileri altında eğitilmiştir. Test kümesi üzerinde elde edilen nicel sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, ResNet50 modeli test kümesi üzerinde %97 genel doğruluk elde ederken, ViT-S/16 modeli %99,05 doğruluk ile belirgin biçimde daha üstün bir performans sergilemiştir.

Çizelge 2. ResNet50 ve ViT-S/16 modellerinin sınıf bazlı performans karşılaştırması

Model	Sınıf	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1-Skoru
ResNet50	Glioma	0.97	0.96	0.98	0.97
ResNet50	Meningioma	0.96	0.97	0.94	0.96
ResNet50	Pituitary	0.99	0.99	0.99	0.99
ResNet50	No Tumor	0.98	0.97	0.98	0.98
ResNet50	Ortalama	0.97	0.97	0.97	0.97
ViT-S/16	Glioma	1.00	1.00	1.00	1.00
ViT-S/16	Meningioma	0.99	0.99	0.98	0.98
ViT-S/16	Pituitary	1.00	1.00	1.00	1.00
ViT-S/16	No Tumor	0.99	0.98	0.99	0.99
ViT-S/16	Ortalama	0.9905	0.99	0.99	0.99

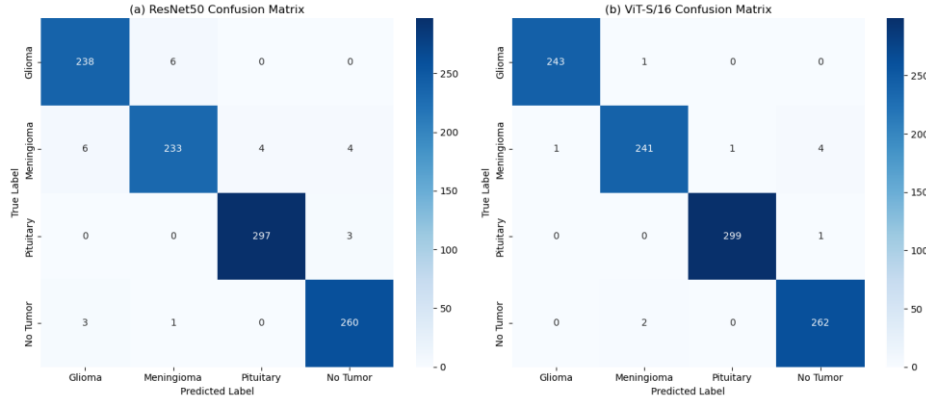
Sınıf bazlı metrikler incelendiğinde, ViT-S/16 modelinin tüm sınıflarda 0.98-1.00 aralığında hassasiyet, duyarlılık ve F1 skoru değerlerine ulaştığı görülmektedir. Buna karşılık, ResNet50 modeli özellikle meningioma ve glioma sınıfları arasında daha belirgin karışıklıklar göstermiştir. Bu durum, CNN tabanlı mimarilerin daha çok lokal özelliklere odaklanması ve küresel bağlamı modelleme konusundaki yapısal sınırlılıkları ile ilişkilendirilebilir.

Görsel 2'de her iki modele ait eğitim ve doğrulama doğruluk/kayıp eğrileri sunulmaktadır. Bu eğriler incelendiğinde, ViT-S/16 modelinin daha hızlı ve daha stabil bir yakınsama davranışı sergilediği açıkça görülmektedir. ResNet50 modelinde ise eğitim ve doğrulama eğrileri arasındaki farkın daha belirgin olduğu ve bunun sınırlı da olsa bir aşırı uyum eğilimine işaret ettiği gözlemlenmektedir.



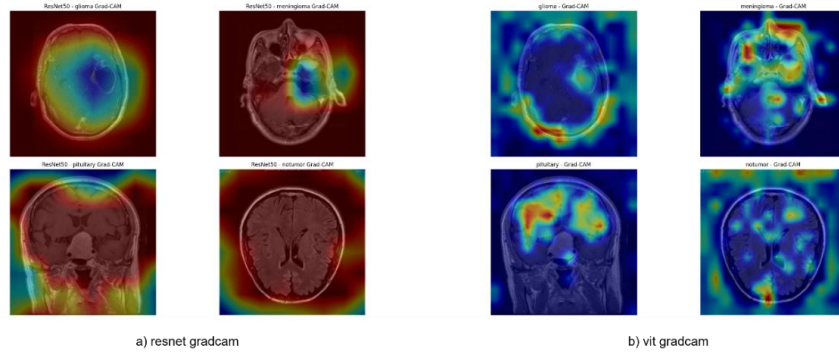
Görsel 2. ResNet50 ve ViT-S/16 modellerinin eğitim ve doğrulama eğrilerinin karşılaştırması

Görsel 3'te ResNet50 ve ViT-S/16 modellerine ait karmaşıklık matrisleri sunulmaktadır. Bu analiz, modellerin sınıflar arasında hata ayırımını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. ViT-S/16 modeli, glioma ve pituitary sınıflarında neredeyse hatasız sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Meningioma sınıfında ise yalnızca çok sınırlı sayıda örneğin notumor olarak yanlış sınıflandırıldığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, ResNet50 modeli özellikle meningioma ve glioma sınıfları arasında daha fazla karışıklık göstermiştir.



Görsel 3. ResNet50 ve ViT-S/16 modellerinin karmaşıklık matrisleri

Modellerin karar mekanizmalarını görsel olarak yorumlayabilmek amacıyla Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Görsel 4'te sunulan örnek görselleştirmeler, ViT-S/16 modelinin yalnızca tümörün merkezi bölgesine değil, aynı zamanda çevresel ödem alanlarına ve sınır düzensizliklerine de odaklandığını göstermektedir. Buna karşılık, ResNet50 modelinin daha çok lokal doku yoğunluğuna ve kenar bölgelerine yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ViT-S/16 modelinin daha küresel ve klinik açıdan anlamlı temsiller öğrenebildiğini desteklemektedir.



Görsel 4. Modellerin Grad-CAM karşılaştırması

Çizelge 3'te ResNet50 ve ViT-S/16 modellerinin sınıflandırma doğruluğu ve eğitim süresi açısından karşılaştırması sunulmaktadır. ViT-S/16 modeli daha yüksek doğruluk ve daha iyi genelleme performansı sergilemesine rağmen, ResNet50 modeline kıyasla daha fazla hesaplama kaynağı ve daha uzun eğitim süresi gerektirmektedir. Her iki model de NVIDIA T4 GPU (≈ 15 GB bellek) ortamında eğitilmiş olup ViT-S/16 mimarisinin karmaşıklığı nedeniyle belirgin biçimde daha yüksek GPU bellek tüketimi sergilemiştir. Buna karşılık, ResNet50 modeli daha düşük kaynak tüketimi ile makul bir performans sunarak, kaynak kısıtlı ortamlarda tercih edilebilir bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. ResNet50 ve ViT-S/16 karşılaştırması

Model	Doğruluk (%)	Eğitim Süresi (saat)
ResNet50	97.00	≈3
ViT-S/16	99.05	≈4.5

Önerilen yaklaşımın literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırması Çizelge 4'te sunulmuştur. Tablodan görüleceği üzere, bu çalışmada ViT-S/16 ile elde edilen %99.05 doğruluk, benzer boyuttaki veri setleri kullanan diğer çalışmalara kıyasla en yüksek performanslardan biridir.

Çizelge 4. Literatür karşılaştırması

Çalışma	Yöntem	Veri Seti	Sınıf	Doğruluk (%)
Bu çalışma (ViT-S/16)	Vision Transformer	Kaggle MRI (7023)	4	99.05
Aiya et al. (2025)	VGG16 + Attention + Grad-CAM	Kaggle MRI (7023)	4	99.00
Bu çalışma (ResNet50)	CNN (Transfer Learning)	Kaggle MRI (7023)	4	97.00
Swati et al. (2019)	ResNet50 + Transfer Learning	MRI	4	94.82

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen deneysel bulgular, transformer tabanlı mimarilerin beyin tümörü gibi karmaşık ve heterojen morfolojik yapılara sahip medikal görüntülerin sınıflandırılmasında, geleneksel CNN tabanlı yaklaşımlara kıyasla belirgin avantajlar sunduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. ViT-S/16 modelinin test kümesi üzerinde %99.05 doğruluk elde etmesi, çok başlı öz-dikkat (multi-head self-attention) mekanizmasının küresel bağlamsal ilişkileri modellemedeki etkinliğini göstermektedir.

Çizelge 3'te sunulan modeller arası karşılaştırma incelendiğinde, ViT-S/16 modelinin ResNet50'ye kıyasla daha yüksek sınıflandırma performansı sergilediği görülmektedir. Eğitim eğrileri de bu durumu desteklemekte olup, ViT-S/16 modelinin daha stabil bir yakınsama davranışı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, ResNet50 modeli daha düşük hesaplama maliyeti ve daha kısa eğitim süresi ile kaynak kısıtlı ortamlar için pratik bir alternatif sunmaktadır. Ancak özellikle meningeoma ve glioma sınıfları arasında gözlenen karışıklıklar, CNN tabanlı mimarilerin ağırlıklı olarak lokal örüntülere dayalı temsil öğrenmesinden kaynaklanan yapısal sınırlılıklarını göstermektedir.

Karmaşıklık matrisi analizleri, ViT-S/16 modelinin glioma ve pituitary sınıflarında neredeyse hatasız sınıflandırma gerçekleştirdiğini, meningeoma sınıfında ise yalnızca çok sınırlı sayıda örneğin notumor olarak yanlış sınıflandırıldığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, transformer

tabanlı modelin sınıflar arası daha ayırt edici ve daha dengeli temsiller öğrenebildiğini göstermektedir.

Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik analizleri, ViT-S/16 modelinin yalnızca tümörün merkezi bölgelerine değil, aynı zamanda çevresel ödem alanlarına ve sınır düzensizliklerine de odaklandığını göstermiştir. Buna karşılık, ResNet50 modelinin daha çok lokal doku yoğunlukları ve kenar bölgeleri üzerine yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu fark, ViT tabanlı mimarilerin klinik açıdan daha anlamlı ve daha yorumlanabilir karar mekanizmaları geliştirme potansiyeline sahip olduğunu desteklemektedir.

Çizelge 4'te sunulan literatür karşılaştırması incelendiğinde, bu çalışmada önerilen ViT-S/16 tabanlı yaklaşımın %99,05 doğruluk ile hem klasik makine öğrenmesi ve CNN tabanlı yöntemleri [6,7] hem de yakın dönem transformer tabanlı yaklaşımların büyük bir kısmını geride bıraktığı görülmektedir. Bununla birlikte, ViT-S/16 modelinin daha yüksek GPU bellek tüketimi ve daha uzun eğitim süresi gibi pratik sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla, ilerleyen çalışmalarda model sıkıştırma, bilgi damıtma (knowledge distillation) ve hızlandırma tekniklerinin kullanılması, bu tür modellerin klinik uygulamalara entegrasyonu açısından kritik önem taşımaktadır.

6. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, beyin tümörü sınıflandırma problemi için ResNet50 ve ViT-S/16 derin öğrenme modelleri aynı veri seti ve aynı ön işlem koşulları altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, transformer tabanlı ViT-S/16 mimarisinin %99,05 doğruluk ile ResNet50 modeline kıyasla hem daha yüksek sınıflandırma performansı hem de daha iyi genelleme kabiliyeti sunduğunu ortaya koymuştur. Eğitim eğrileri, karmaşıklık matrisi analizleri ve Grad-CAM tabanlı açıklanabilirlik sonuçları bu üstünlüğü hem nicel hem de nitel açıdan tutarlı biçimde desteklemektedir. Bu bulgular, derin öğrenme tabanlı otomatik beyin tümörü sınıflandırma sistemlerinin klinik karar destek süreçlerinde güvenilir ve etkili bir yardımcı araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda, çok modaliteli MRI verilerinin (T1, T2, FLAIR vb.) entegrasyonu ile daha kapsamlı ve daha sağlam sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, farklı mimarilerin bir araya getirildiği ensemble ve hibrit yaklaşımlar ile performansın daha da artırılması planlanmaktadır. Bunun yanı sıra, model sıkıştırma ve hızlandırma teknikleri kullanılarak bu tür sistemlerin mobil veya kenar cihazlara uyarlanması ve gerçek klinik ortamlarda çok merkezli ve heterojen veri setleri üzerinde geniş ölçekli doğrulama çalışmalarının yapılması, bu alandaki en önemli gelecek araştırma yönleri arasında yer almaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*, 71(3), 209-249.

- [2] Bauer, S., Wiest, R., Nolte, L. P., & Reyes, M. (2013). A survey of MRI-based medical image analysis for brain tumor studies. *Physics in medicine and biology*, 58(13), R97-R129.
- [3] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- [4] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., ... & Houlsby, N. (2020). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. *arXiv preprint arXiv:2010.11929*.
- [5] Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017). Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 618-626).
- [6] Cheng, J., Huang, W., Cao, S., Yang, R., Yang, W., Yun, Z., ... & Feng, Q. (2015). Enhanced performance of brain tumor classification via tumor region augmentation and partition. *PloS one*, 10(10), e0140381.
- [7] Swati, Z. N. K., Zhao, Q., Kabir, M., Ali, F., Ali, Z., Ahmed, S., & Lu, J. (2019). Brain tumor classification for MR images using transfer learning and fine-tuning. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 75, 34-46.
- [8] Shamshad, F., Khan, S., Zamir, S. W., Khan, M. H., Hayat, M., Khan, F. S., & Fu, H. (2023). Transformers in medical imaging: A survey. *Medical image analysis*, 88, 102802.
- [9] Hatamizadeh, A., Tang, Y., Nath, V., Yang, D., Myronenko, A., Landman, B., ... & Xu, D. (2022). Unetr: Transformers for 3d medical image segmentation. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision* (pp. 574-584).
- [10] Nickparvar, M. (2021). Brain tumor MRI dataset. Kaggle. <https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DSV/2645886>
- [11] Aiya, A. J., Wani, N., Ramani, M., Kumar, A., Pant, S., Kotecha, K., ... & Al-Danakh, A. (2025). Optimized deep learning for brain tumor detection: a hybrid approach with attention mechanisms and clinical explainability. *Scientific Reports*, 15(1), 31386.

KUERSETİNİN EPİDERMAL BÜYÜME FAKTÖRÜ RESEPTÖRÜNE BAĞLANMA POTANSİYELİNİN MOLEKÜLER YERLEŞTİRME YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Yazar Ünvanı, Zerda YILDIRIM

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü,

222701001@stu.adu.edu.tr - 0009-0004-9164-6321

Yazar Ünvanı, Şerife Gökçe ÇALIŞKAN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü,

gcaliskan@adu.edu.tr – 0000-0001-5421-3472

ÖZET

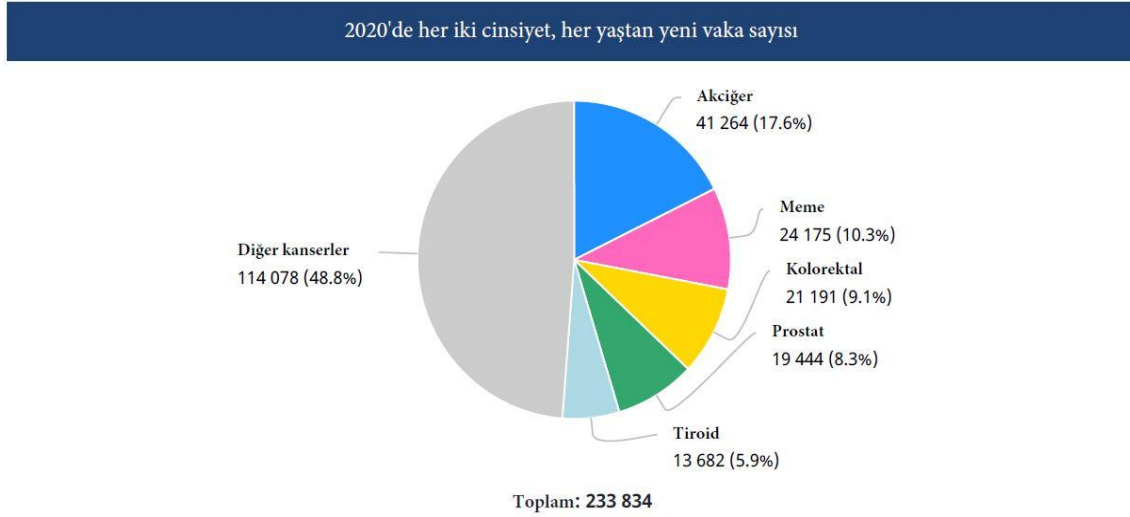
Kanser, hücresel sinyal iletim mekanizmalarındaki düzensizlikler sonucu gelişen kompleks bir hastalıktır. Epidermal Büyüme Faktörü Reseptörü (EGFR), birçok kanser türünde aşırı ekspresyonu nedeniyle hedefe yönelik tedavilerde kritik bir moleküler hedef olarak kabul edilmektedir. Doğal flavonoidler arasında yer alan kuersetin, antikanser potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu çalışmada kuersetinin EGFR tirozin kinaz domenine bağlanma potansiyeli moleküler yerleştirme yöntemi ile araştırılmıştır..Hedef protein olarak Protein Data Bank'ten elde edilen 4WKQ kristal yapısı kullanılmıştır. Ligand yapılarının optimizasyonunun ardından moleküler yerleştirme analizleri AutoDock Vina programı ile gerçekleştirilmiştir. Yerleştirme protokolünün doğruluğu, referans inhibitör gefitinibin yeniden yerleştirilmesiyle test edilmiş ve 1.015 Å RMSD değeri elde edilerek yöntemin güvenilirliği doğrulanmıştır. Sonuçlar, kuersetinin EGFR'ye bağlanma enerjisinin -8.9 kcal/mol olduğunu ve aktif bölgede kritik rezidülerle hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimler oluşturduğunu göstermektedir. Bu bulgular, kuersetinin EGFR hedefli inhibitör tasarımı potansiyel bir doğal aday olabileceğini ve kanser tedavisinde gelecekte yapılacak deneysel çalışmalara temel oluşturabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Moleküler Yerleştirme, EGFR, Kuersetin, AutoDock Vina, Bilgisayar Destekli İlaç Tasarımı

1. GİRİŞ

Kanser, hücrelerin normal kontrol mekanizmalarından bağımsız biçimde bölünmesi ve çoğalması sonucu gelişen, dünya genelinde ciddi bir halk sağlığı sorunudur. Dünya Sağlık

Örgütü verilerine göre her yıl milyonlarca insanın yaşamını etkilemekte ve ölüm nedenleri arasında kardiyovasküler hastalıklardan sonra ikinci sırada yer almaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2018; TÜİK, 2021). Türkiye’de en fazla görülen kanser çeşitleri birinci sırada akciğer ikinci sırada meme kanseri, üçüncü sırada kolorektal kanser dördüncü sırada prostat kanseri, beşinci sırada tiroid kanseri ve diğer kanserler olarak oranları Şekil 1’de verilmiştir.



Görsel 1 : 2020 Yılında Türkiye'deki Kanser Dağılım Tablosu (Ferlay ve ark.,2024)

Kanserin ortaya çıkışında genetik mutasyonlar, çevresel faktörler ve hücresel sinyal yollarındaki bozulmalar önemli rol oynamaktadır.(Hanahan ve ark., 2011). Bu karmaşık yapısı nedeniyle kanser tedavisinde hedefe yönelik, etkili ve düşük yan etkiye sahip yeni ajanların geliştirilmesi günümüzde de öncelikli araştırma alanlarından biridir. Kanser biyolojisinin bu kadar fazla katmanlı bir yapıya sahip olması, hastalığın sadece hücresel düzeyde değil, bununla beraber genetik, epigenetik ve çevresel etkileşimler bağlamında da incelenmesini zorunlu kılmaktadır. Son zamanlarda yapılan moleküller üzerindeki çalışmalar, tümör gelişiminin temelinde hücresel sinyal yollarında meydana gelen mutasyonların, hücre döngüsünün kontrolünü yitirmesini ve apoptoz mekanizmalarının baskılanmasının yattığını göstermektedir. Bununla beraber farklı kanser türlerinde görülen heterojenite, tedaviye yanıtın kişiden kişiye değişmesine neden olmakta ve standart tedavi yöntemlerinin etkinliğini kısıtlamaktadır. Bu sebeple kanser araştırma çalışmalarında güncel yönelim hastalığın moleküler özelliklerinin detaylı bir şekilde tanımlanmasına ve bireye özgü hedeflerin belirlenmesine yönelmiştir. Özellikle genomik teknolojilerdeki hızlı gelişmeler, tümörlerde rol oynayan mutasyonların daha hassas biçimde tespit edilmesini mümkün kılmakta; böylece daha seçici, toksisitesi düşük ve etkinliği yüksek yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine bilimsel

anlamda temel hazırlamaktadır. Dolayısıyla modern onkoloji, sadece hastalığın biyolojik etkisinin anlaşılmasını değil, bununla beraber kişiselleştirilmiş terapötik stratejilerin ortaya çıkmasını amaçlayan disiplinler arası bir çalışma alanı hâline gelmiştir. Ayrıca, çevre koşulları ve yaşam tarzına dair etkenlerin kanser oluşumunda oynadığı rol, gün geçtikçe daha fazla dikkat çekmektedir. Tütün ve alkol tüketimi, dengesiz beslenme, aşırı kilo ve yetersiz fiziksel aktivite bazı kanser türlerinin görülme sıklığını artıran önemli etmenler olarak gösterilmektedir.

Buna ek olarak, bazı virüs ve bakteri enfeksiyonları da kanser oluşumunu tetikleyebilmektedir; Örneğin HPV enfeksiyonu rahim ağzı kanseri riskini artırırken, *Helicobacter pylori* enfeksiyonu ise mide kanserinin oluşmasında etkilidir.

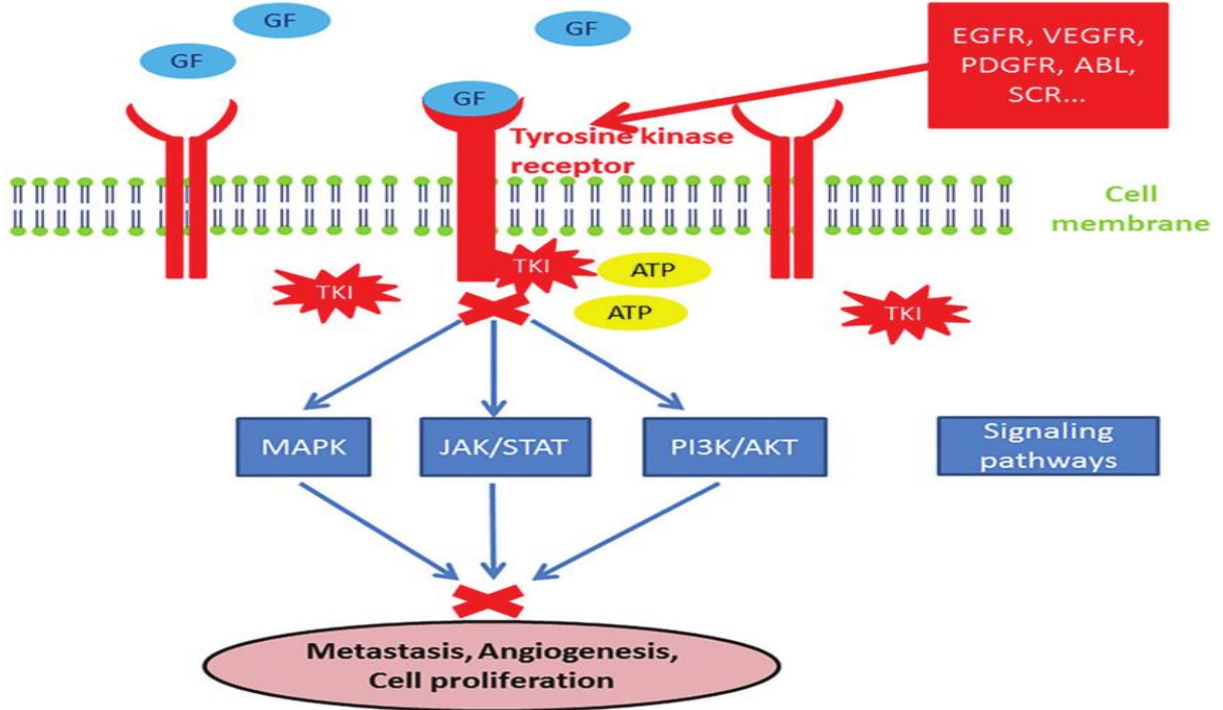
Moleküler düzeyde, hücre döngüsünün kontrolünün kaybolması, DNA onarım sistemlerinin yetersiz çalışması ve apoptoz mekanizmalarının baskılanması, kanserin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle p53 tümör baskılayıcı genindeki mutasyonlar, hasarlı DNA'ya sahip hücrelerin yok edilmesini engelleyerek tümör gelişimini etkilemektedir. PI3K/AKT ve MAPK/ERK sinyal yollarındaki bozulmalar, hücrelerin çoğalmasını ve yaşamını sürdürmesini kolaylaştırarak tümör gelişimini artırmaktadır. Kanser hem biyolojik hem de çevresel açıdan karmaşık yapıya sahip olması, kişiye özel ve hedefe yönelik tedavi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Hedefe yönelik ilaçlar, immünoterapiler ve küçük molekül inhibitörleri, geleneksel kemoterapi ve radyoterapinin yan etkilerini azaltırken tedavi başarısını ise artırmaktadır. Genomik ve proteomik çalışmalar sayesinde tümörlerdeki moleküler özellikler daha doğru bir şekilde tespit edilebilmekte ve klinik uygulamalarda daha seçici, etkili ve güvenli tedavi yöntemleri kullanılabilmektedir. Bu sayede modern onkoloji, sadece hastalığın biyolojik mekanizmalarını anlamakla kalmayıp, aynı zamanda her hasta için özel tedavi yöntemleri geliştirmeyi amaçlayan disiplinler arası bir alan hâline gelmiştir. Kanser moleküler mekanizmalarını anlamak, çevresel ve yaşam tarzı etmenlerini belirlemek ve kişiye özel tedavi yöntemleri geliştirmek, günümüz onkoloji araştırmalarının temel hedeflerini oluşturmaktadır. Bu açıdan kanser biyolojisi çalışmaları, hem halk sağlığı için önleyici stratejilerin geliştirilmesine hem de klinik tedavilerin etkinliğinin artırılmasına doğrudan katkı sağlamaktadır.

Kanser biyolojisinde önemli terapötik hedeflerden biri olan tirozin kinaz reseptörleri (RTK'ler), hücre büyümesi, farklılaşma, metabolizma ve apoptoz gibi süreçlerin düzenlenmesinde görev alan transmembran proteinlerdir. Bu reseptörlerin aşırı ekspresyonu veya mutasyonları, hücre proliferasyonu ve metastaz süreçlerinin kontrolsüz hale gelmesine neden olmaktadır (Lemmon & Schlessinger, 2010) (Şekil 2). Epidermal büyüme faktörü reseptörü (EGFR), vasküler

endotelial büyüme faktörü reseptörü (VEGFR) ve platelet-derived growth factor reseptörü (PDGFR) gibi RTK alt tiplerinin çeşitli kanserlerde anormal aktivasyonu, agresif tümör gelişimiyle ilişkilendirilmiştir (Templeton, 2014; Tomiguchi ve ark.,2016). Bu nedenle RTK'ler, hedefe yönelik antikanser ilaçların geliştirilmesinde öncelikli moleküler hedefler olarak değerlendirilmektedir.

EGFR, hücre yüzeyinde yer alan ve hücre büyümesi, farklılaşması ile doku dengesi (homeostaz) süreçlerini düzenleyen bir reseptör tirozin kinazdır. Normal şartlarda EGFR kontrollü bir şekilde çalışarak hücrelerin düzenli çoğalmasını sağlar. Ancak bazı kanser türlerinde EGFR'in fazla miktarda üretilmesi veya mutasyonlar nedeniyle sürekli aktif hâle gelmesi, hücrelerin kontrolsüz şekilde çoğalmasına yol açar. Bu durum, hücre içi sinyal yollarının sürekli aktif kalmasına ve hücre döngüsünün bozulmasına neden olur. Sonuç olarak apoptoz mekanizmaları baskılanır, hücrelerin hayatta kalma yeteneği artar ve tümör gelişimi hızlanır. EGFR'deki mutasyonlar veya fazla ifade edilmesi, özellikle akciğer, kolorektal, glial kanserlerinde sıkça görülür. Bazı varyantlar, normal kontrol mekanizmalarını devre dışı bırakarak sinyallerin sürekli aktif kalmasına ve tümörün daha agresif davranmasına yol açar. Bu nedenle EGFR, kanserin moleküler mekanizmasını anlamada ve hedefe yönelik tedavi geliştirmede kritik bir öneme sahiptir. EGFR'ye yönelik tedaviler, küçük molekül tirozin kinaz inhibitörleri veya monoklonal antikorlar şeklinde uygulanarak, tümör hücrelerinin kontrolsüz çoğalmasını ve hayatta kalmasını azaltmayı hedefler. EGFR'nin kanser progresyonundaki rolü sadece hücre proliferasyonu ve apoptoz inhibisyonu ile sınırlı değildir. Mutasyona uğrayan veya fazla miktarda ifade edilen EGFR, tümör mikroçevresini de etkileyerek yeni damar oluşumu (anjyogenez), hücre göçü ve metastaz süreçlerini destekler. Bu durum, tümör hücrelerinin sadece bulundukları bölgede çoğalmasını değil, eş zamanlı olarak uzak organlara yayılmasını da kolaylaştırır. Hedefe yönelik tedaviler, EGFR'in çapraz sinyal yollarla beraber etkileşimlerini ve mutasyonlara bağlı olarak sürekli aktivasyonunu dikkate alarak, daha etkili ve kişiye ait tedavi stratejileri geliştirmeyi amaçlar. Bu nedenle EGFR, modern onkoloji araştırmalarında hem biyolojik bir belirteç hem de önemli bir terapötik hedef olarak önemini göstermektedir.

Günümüzde RTK inhibitörleri kanser tedavisinde klinik olarak kullanılmakla birlikte, birçok hastada edinilmiş direnç gelişimi nedeniyle tedavi etkinliği zamanla azalmaktadır (Huang ve ark., 2015). Bu durum, yeni inhibitör bileşiklerin keşfine yönelik çalışmaların önemini artırmaktadır. Doğal kaynaklardan elde edilen moleküller, yüksek biyolojik çeşitlilikleri ve özgün kimyasal yapıları sayesinde ilaç keşfi süreçlerinde önemli bir yer tutmaktadır.



Görsel 2: RTK Mekanizması (Gabora ve ark.,2019)

Son yıllarda yeşil sağlık (Green Healthcare) kapsamında, vücut bağışıklığını güçlendirmek ve anti-kanser tedavilerini desteklemek için daha az invaziv ve daha etkin yeni ve doğal yöntemler bulunması büyük önem kazanmıştır. Bu doğal bileşikler içerisinde önemli bir yeri olan kuersetin, zengin biyoaktif bileşik içeriğiyle dikkat çeken özgün bir doğal kaynaktır. Bitkilerden elde edilen bileşikler gibi doğal, biyoyumlu ve sürdürülebilir kaynakların kanser tedavisine dahil edilmesi, çevresel hususlara saygı göstermesi ve sentetik kimyasallara olan bağımlılığın azaltılması açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Kuersetin, bitkilerde yaygın olarak bulunan ve “flavonol” grubuna ait bir polifenolik flavonoiddir (Murakami ve ark., 2007). Doğal olarak birçok meyve, sebze, tahıl ve bitkide bulunur. Kuersetin molekülü, temel flavonol iskeletine ait aromatik halkalar ve beş hidroksil (–OH) grubu (3, 5, 7, 3', 4') içerir. Bu hidroksil grupları ve aromatik yapı, kuersetin'in hem serbest radikallerle etkileşim yeteneğini hem de moleküler stabilitesini etkiler (Mirza ve ark., 2023).

Kuersetin ve bazı türevlerinde yapılan hesaplamalı (kuantum kimyasal) çalışmalar, HOMO–LUMO enerji farkı, dipol momentleri gibi elektronik özelliklerin, bu molekülün antioksidan aktivitesini (yani elektron ve hidrojen taşıma kapasitesini) etkilediğini göstermiştir. Ancak bu yapının hidrofobik yani suyla iyi çözünmeyen olması, biyoyararlanımda (vücutta kullanıma geçmede) önemli bir engel teşkil etmiştir (Boo ve ark., 2025).

Kuersetin'in laboratuvar ve hayvan çalışmaları düzeyinde birçok etkisi raporlanmış; bunların bazıları aşağıdadır:

- Antioksidan Etki: Serbest radikalleri (reaktif oksijen türleri — ROS) nötralize edebilir; böylece oksidatif stres, lipid peroksidasyonu ve DNA hasarı gibi zararlı süreçleri azaltabilir.
- Anti-inflamatuar Etki: Çeşitli inflamasyon yollarını baskılayabilir; bu da kronik inflamasyon, metabolik hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar gibi durumlarda koruyucu olabilir.
- Antikanser / Hücre Döngüsü Etkileri: Kuersetin, farklı kanser türlerine karşı deneysel modellerde (*in vitro* / *in vivo*) sitotoksik, anti-proliferatif ve pro-apoptotik etkiler göstermiştir.
- Metabolik ve Kronik Hastalıklara Etkiler: Anti-oksidan, anti-inflamatuar ve diğer biyolojik etkileri nedeniyle; diyabet, kardiyovasküler hastalık, karaciğer hastalıkları gibi durumlarda olumlu etkiler potansiyeli vardır.
- Sinir Sistemi & Nörodejeneratif Hastalıklar: Kuersetin'in anti-oksidan ve nöro-koruyucu etkileri nedeniyle, nörodejeneratif hastalıklarda (örneğin Alzheimer, inflamatuvar beyin hasarı vs.) araştırılan bileşiklerden biridir (Elik, 2024).

Ancak kuersetinin tirozin kinaz reseptörleri üzerindeki etki mekanizmaları henüz ayrıntılı biçimde incelenmemiştir.

Bilgisayar destekli ilaç tasarımı (BDİT), çeşitli teorik ve hesaplamalı yaklaşımları içerir ve modern ilaç keşfinin bir parçasıdır. Son yıllarda, zaman alan, yüksek maliyetli geleneksel yöntemlerin aksine, bilim adamları tarafından hastalığa karşı yüksek etkili ve daha iyi potansiyele sahip yeni ilaçlar tasarlamak için kullanılan uygun maliyetli, zaman kazandıran ve hızlı bir yöntem olmuştur (Talevi 2018). Yan etkisi az veya hiç olmayan etkin ilaçların tasarımı ve sentezlenmesinde moleküler modelleme ve hesaplamalı kimya, yeni ilaç olabilecek maddelerin geliştirilmesi için çok önemli rol oynamaktadır. BDİT'de değerli bir araç olan moleküler yerleştirme tekniği, moleküllerin biyolojik hedeflere bağlanmasını araştırmak için kullanılmakta ve bu moleküller ile araştırma altındaki reseptörler arasındaki etkileşimlerin türü hakkında yararlı bilgiler sağlamaktadır ((Olanrewaju ve ark., 2020; Oyeneyin ve ark., 2021). Hastalıkların tedavisinde olası bağlanma şekillerini ve etkinliğini tahmin etmek amacıyla kullanıldığı için bu yöntem ilaç tasarımında çok önemli bir yer tutmaktadır (Liu ve ark., 2019; Bhuvanendran ve ark ., 2019). Ayrıca absorpsiyon, dağılım, metabolizma, atılım ve toksisite (ADMETox) özellikleri ilaç geliştirmede hayati bir rol oynamakta, vücuda verildikten sonra bir molekülün kaderi ve etkinliği hakkında çok önemli bilgiler sağlamaktadır. Tümör hücrelerinde büyüme ve proliferasyondan sorumlu proteinlerin ekspresyonunu inhibe eden bileşikler bulmak için çeşitli moleküler yerleştirme ve YFT çalışmaları yapılmıştır (Horchani ve ark.,

2021). Bu proteinlerin inhibisyonu çok önemlidir ve kanser için yenilikçi terapötik stratejiler için yeni bakış açıları sunma potansiyeline sahiptir.

Moleküler yerleştirme, Bilgisayar Destekli İlaç Tasarımı için önemli bir bileşendir. "Yapıya dayalı ilaç tasarımı" yöntemleri olarak adlandırılan yöntemlerin bir parçasıdır ve ilk olarak 80'lerin ortalarından 90'ların başlarına kadar bilinen aktif bileşiklerin bağlanma modunu tahmin etmek ve maliyetleri düşürmek ve ilaç keşfini hızlandırmak için büyük dijital bileşik kütüphanelerini sanal olarak taramak amacıyla geliştirilmiştir (Bohacek ve ark.,1996). Moleküler yerleştirme, günümüzde küçük molekül ligandlarının makromoleküler hedeflere bağlanması için bağ konformasyonlarını ve serbest enerjilerini tahmin etmek için kullanılmaktadır

Moleküler yerleştirme, bir ligand ile hedef protein arasındaki bağlanma konformasyonlarını ve bağlanma enerjisini tahmin etmeyi amaçlayan hesaplamalı bir biyofizik yöntemidir. Temelinde, atomlar arası etkileşimlerin klasik mekanik ve istatistiksel fizik çerçevesinde modellenmesi yatar. Bir ligandın protein bağlanma bölgesine yerleşmesi, fiziksel olarak iki molekül arasındaki potansiyel enerji yüzeyinde minimum enerji noktalarının bulunması problemidir. Dolayısıyla yerleştirme, gerçekte bir enerji minimizasyonu ve konfigürasyon uzayını tarama sürecidir. Protein ve ligand atomları arasındaki elektrostatik çekim, van der Waals kuvvetleri, hidrofobik etkileşimler, dipol–dipol etkileşimleri ve hidrojen bağları gibi fiziksel kuvvetler toplam potansiyeli belirler ve bağlanmanın kararlılığını tayin eder.

Hesaplanan bağlanma enerjisi, klasik fizik tabanlı bir kuvvet alanı (force-field) yaklaşımıyla tanımlanır. Force-field'lar atomlar arasındaki etkileşimleri tanımlayan matematiksel potansiyel fonksiyonları içerir. Bu fonksiyonlar genellikle Coulomb yasasına dayalı elektrostatik terim, Lennard–Jones potansiyeli ile ifade edilen van der Waals terimleri ve bağ, açı, torsiyon gibi içsel moleküler potansiyel katkılarını içerir. Bir ligandın proteine bağlanmasıyla sistemin toplam enerjisinin düşmesi beklenir; bu nedenle yerleştirme skorları, temelde bir enerji farkı olarak yorumlanır. Enerji ne kadar düşükse, fiziksel bağlanma o kadar kararlı kabul edilir.

Moleküler yerleştirme aynı zamanda termodinamik bir problem olarak da değerlendirilebilir. Bir ligandın bağlanma afinitesi, serbest enerji değişimi (ΔG) ile ilişkilidir. AutoDock Vina gibi yazılımlarda verilen skorlar, sistemin bağlanma esnasında kazandığı (veya kaybettiği) serbest enerjiye karşılık gelen ampirik bir tahmindir. Bu bağlamda yerleştirme fiziksel olarak “protein–ligand kompleksinin serbest enerji minimumunu bulma” işlemidir. Bu nedenle yerleştirme sonuçları yalnızca kimyasal değil, aynı zamanda enerji temelli fiziksel prensiplerle açıklanabilir.

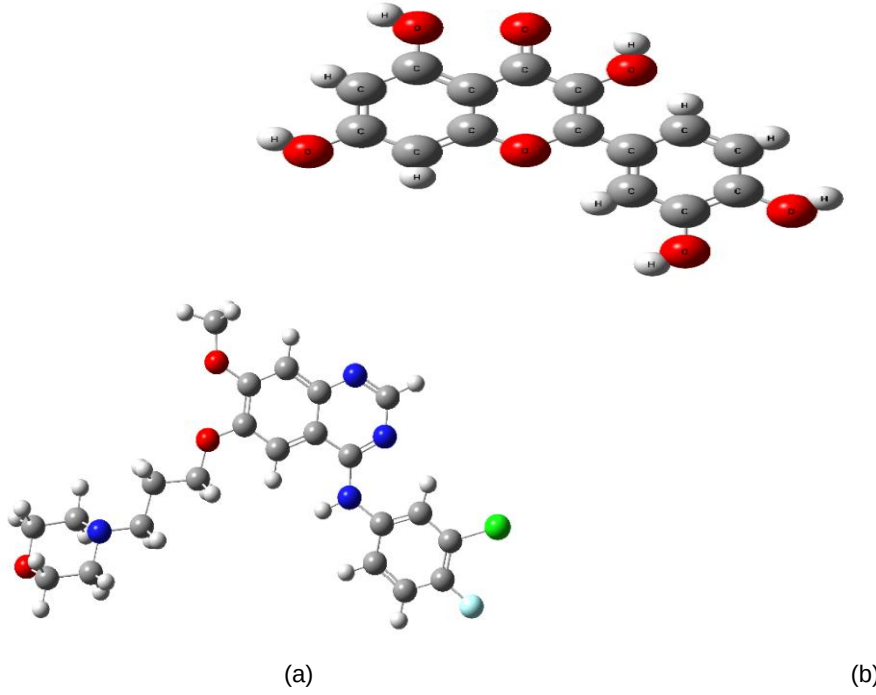
Yerleştirme sürecinde uygulanan arama algoritmaları da doğrudan fiziksel kavramlara dayanır. Konformasyon uzayının taranması, istatistiksel fiziğin temel problemlerinden biri olan çok serbestlik dereceli sistemlerde minimum enerji yapılarının bulunması problemine karşılık gelir. Ligandın döneabilen bağları, üç boyutlu konum değişiklikleri ve torsiyon açıları, sistemin serbestlik derecelerini oluşturur. Bu yapı, fiziksel olarak çok boyutlu bir potansiyel enerji yüzeyinde en düşük enerjili noktaya giden bir yol bulma problemidir. Bu yüzden yerleştirme algoritmaları, optimizasyon yaklaşımlarını (genetik algoritma, Markov zincirleri, rastgele örnekleme vb.) fizik temelli enerji fonksiyonları ile birleştirir.

Sonuç olarak, moleküler yerleştirme çalışmaları yalnızca kimyasal bir bağlanma analizi değil, aynı zamanda güçlü bir fiziksel modelleme sürecidir. Atomlar arası kuvvetlerin modellenmesi, potansiyel enerji yüzeylerinin incelenmesi, serbest enerji değişimlerinin yorumlanması ve optimizasyon prensipleri tamamen fizik temellidir. Bu nedenle yerleştirme fizik bölümleri açısından doğrudan biyofiziksel bir hesaplama yöntemi, protein–ligand etkileşimlerini anlamaya yönelik enerji tabanlı bir fizik problemi olarak değerlendirilebilir.

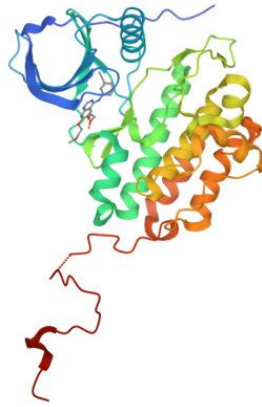
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Moleküler Yerleştirme Yöntemi

Bu çalışmada, kuersetin ile EGFR arasındaki olası etkileşimler bilgisayar destekli ligand–protein moleküler yerleştirme yöntemiyle araştırıldı. Bunun için öncelikle hedef protein ve ligand yerleştirme işlemi için gerekli şekilde hazırlanmış ve sonrasında yerleştirme işlemi gerçekleştirildi. Referans ilaç olarak ise FDA onaylı ve klinikte meme ve akciğer kanseri tedavilerinde etkin olarak kullanılan gefitinib kullanıldı.



Görsel 3: a) Kuersetin, b) Gefitinibin üç boyutlu yapısı.



Görsel 4:EGFR'nin üç boyutlu yapısı.

2.2. Hedef Proteinin Hazırlanması

Hedef proteinin üç boyutlu kristal yapısı Protein Data Bank (PDB) veri tabanından elde edildi. EGFR için 4WKQ kodlu yapı kullanıldı (Şekil 5). Bu yapılar literatürde aktif konformasyonları temsil ettiği için tercih edildi. Eksik yan zincirler Swiss-PDB Viewer (Guex & Peitsch, 1997) kullanılarak tamamlandı, sadece kendi ligandının bağlandığı aktif bağlanma bölgeleri analiz kapsamına alındı. Hedef proteinin yapısında bağlı bulunan kendi ligand yapısı, iyon ve su molekülleri çıkarılarak proteinler yerleştirme (docking) için uygun hale getirildi.

2.3.Ligandın Hazırlanması

Ligand olarak kullanılan kuersetin (Şekil 3) ve referans ilaç olarak kullanılan gefitinibin (Şekil 4) 2 boyutlu yapıları PubChem veritabanından indirildi. Kuersetinin kodu 5280343, gefitinibin kodu ise 123631 şeklindedir. Kuersetin ve gefitinib Avogadro yazılımı kullanılarak optimize edildi. Sonrasında bu yapılar Autodock tools 1.5.7 yazılımı (ADT, The Scripps Research Institute, La Jolla, CA, USA) ile açılarak dönebilen bağları ve sayıları tanımlandı. Son olarak moleküler yerleştirme işlemi için pdbqt formatında kaydedildi.

2.4. Moleküler Yerleştirme ve Sonuçların Görüntülenmesi

Hedef protein olan EGFR'nin aktif bölgesini içerecek şekilde ızgara (grid) kutusu boyutları ve koordinatlar belirlendi. Buna göre ızgara aralığı 375 Å olarak ayarlandı ve ızgara kutusu boyutu, ligandın bağlanma modlarının kapsamlı bir şekilde örneklenmesini sağlayacak kadar büyük ($40 \text{ Å} \times 40 \text{ Å} \times 40 \text{ Å}$) olacak şekilde seçildi. Hazırlanmış olan hedef protein ve ligand Autodock Vina programı (Trott ve Olson, 2010) kullanılarak moleküler yerleştirme işlemi yapıldı. Program tarafından oluşturulan en iyi 9 yerleştirme sonucunu içeren sonuç dosyasından en iyi bağlanma enerjisine sahip olan kompleks yapı seçildi. En iyi yerleştirme pozu, tahmin edilen en düşük bağlanma afinitesine (kcal/mol) göre seçildi. Bağlanma pozisyonları ve bağlanma afiniteleri de dahil olmak üzere çıktı yerleştirme sonuçları, BIOVIA Discovery Studio Görselleştirici kullanılarak görselleştirildi ve analiz edildi. Moleküller arası etkileşimler (hidrojen bağları, hidrofobik temaslar ve iyonik etkileşimler) tanımlandı.

2.5.Yöntemin Doğruluğunun Analizi

EGFR yapısında bulunan referans inhibitör gefitinib proteinden ayrılıp yeniden yerleştirme işlemi yapılarak moleküler yerleştirme yönteminin doğruluğu analiz edildi. Kullanılan yöntemin doğru olabilmesi için elde edilen RMSD değerinin 2 Å değerinden küçük olması gerekmektedir (Onodera ve ark., 2007).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada kuersetin ve EGFR arasındaki etkileşimin profili ve bağlanma afinitesini incelemek amacıyla moleküler yerleştirme işlemi gerçekleştirildi. Yapılan moleküler yerleştirme işlemi sonucunda kuersetinin EGFR hedef proteinine bağlanma enerjisi değeri -8.9 kcal/mol olarak elde edildi. EGFR mutasyonu görülen meme ve akciğer kanseri tedavilerinde

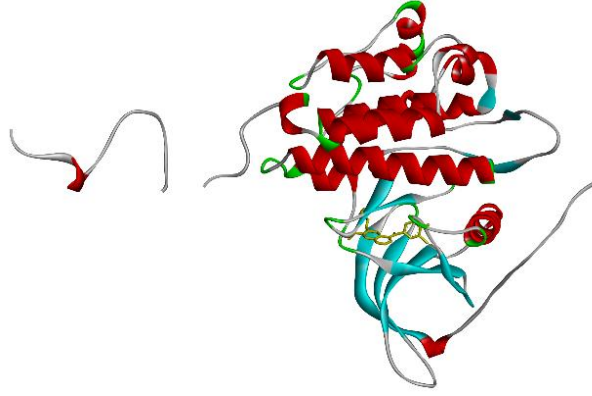
de etkin olarak kullanılan FDA onaylı bir ilaç olan gefitinib ile EGFR arasındaki bağlanma enerjisi değeri ise -7.8 kcal/mol olarak bulundu. Bu durum, kuersetinin bağlanma bölgesinde daha fazla hidrojen bağı ve hidrofobik etkileşim kurabilmesiyle açıklanabilir. Ligandlar ve EGFR arasındaki etkileşimlerin iki boyutlu ve üç boyutlu gösterimleri Şekil 6,7,8 ve 9’da verilmiştir. Ligandlar ve EGFR arasında kurulan bağlar, oluşan etkileşimler, bağ uzunlukları ve etkileşilen rezidü bilgileri ise Çizelge 1’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Kuersetin, EGFR’nin ATP bağlanma bölgesinde yer alan MET769, LYS721 ve GLU738 gibi kritik kalıntılarla hidrojen bağları oluşturmuştur. Ayrıca VAL702, ALA719 ve LEU820 ile kurduğu hidrofobik etkileşimler, ligandın aktif bölgeye stabil şekilde yerleşmesine katkı sağlamaktadır. efitinib’in bağlanma pozunda SER696 ve GLY697 ile hidrojen bağları gözlenmiş, LYS721 ile gerçekleşen π -katyon etkileşimi ise ligandın ATP bölgesine özgü konumlanmasını desteklemiştir. Bu etkileşim profili gefitinibin literatürde bilinen bağlanma moduyla uyumludur.

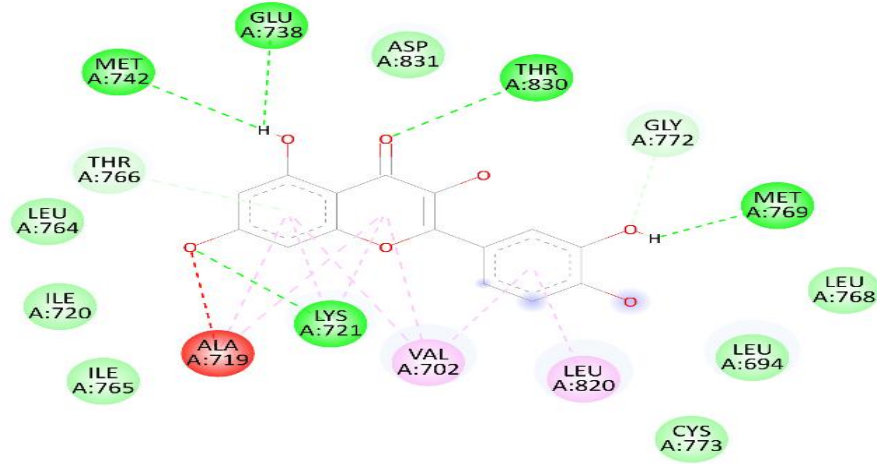
Kuersetin ve gefitinib arasındaki karşılaştırma, iki ligandın bağlanma bölgelerinde kısmen benzer kalıntılarla etkileşime girdiğini, ancak kuersetinin daha fazla hidrojen bağı ve hidrofobik temas kurarak bağlanma cebini daha geniş yüzey alanıyla doldurduğunu göstermektedir. Bu nedenle kuersetinin Vına skorunun gefitinibden daha iyi çıkması beklenen bir durumdur.



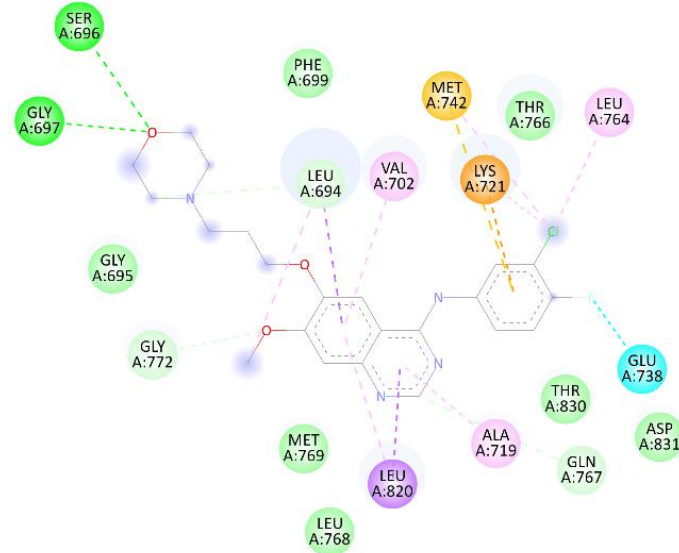
Görsel 5:Kuersetin-EGFR Kompleksinin Üç Boyutlu Gösterimi



Görsel 6:Gefitinib-EGFR Kompleksinin Üç Boyutlu Gösterimi



Görsel 7: Kuersetin-EGFR Kompleksinin İki Boyutlu Gösterimi



Görsel 8:Gefitinib-EGFR Kompleksinin İki Boyutlu Gösterimi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yerleştirme protokolünün geçerliliğini değerlendirmek amacıyla, 4WKQ kristal yapısında ko-kristal halde bulunan referans inhibitör gefitinib yeniden yerleştirilmiş ve elde edilen en iyi pozisyon, kristaldeki bağlanma konformasyonu ile karşılaştırılmıştır. Yeniden yerleştirilen gefitinib pozunun kristal yapıya göre kök ortalama kare sapması (RMSD) 1.015 Å olarak bulunmuştur. RMSD değerinin 2.0 Å'nın altında olması, tanımlanan grid kutusunun ve kullanılan AutoDock Vina parametrelerinin EGFR bağlanma bölgesini yeterli doğrulukta temsil ettiğini ve yerleştirme protokolünün güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çalışmada kullanılan yerleştirme protokolü, gefitinib için 1 Å civarında RMSD değeri vermiştir; bu da hem bağlanma cebinin doğru tanımlandığını hem de kullanılan parametrelerin literatürde önerilen kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu göstermekte ve kuersetin için elde edilen sonuçların yorumlanabilirliğini güçlendirmektedir.

Doğal flavonoidler arasında yer alan kuersetin, kanser biyolojisi ve sinyal yolları üzerindeki etkileri nedeniyle son yıllarda yoğun biçimde araştırılan bir bileşiktir. Özellikle Epidermal Growth Factor Receptor (EGFR) gibi tirozin kinaz yapılı reseptörler üzerinde inhibitör etki gösterebildiğini ortaya koyan çok sayıda moleküler yerleştirme ve *in silico* çalışma bulunmaktadır. Literatürde, kuersetinin EGFR üzerindeki potansiyel bağlanma modları çeşitli kristal yapılar kullanılarak incelenmiştir.

Çizelge 1. Bileşikler ve Hedef Protein Arasındaki Etkileşimler, Bağ Uzunlukları, Rezidü Bilgileri.

Ligand	Rezidü	Bağ Uzunluğu (Å)	Etkileşim Çeşidi
Kuersetin	LYS721	3.257	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	THR830	2.963	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	MET769	2.583	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	GLU738	2.792	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	MET742	2.792	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	GLY772	3.432	Karbon Hidrojen Bağı
	THR766	3.472	Pi-Donör Hidrojen Bağı
	VAL702	4.849	Pi-Alkil
	VAL702	5.426	Pi-Alkil

	ALA719	5.245	Pi-Alkil
	ALA719	4.872	Pi-Alkil
	LYS721	5.178	Pi-Alkil
	LYS721	4.014	Pi-Alkil
	VAL702	4.981	Pi-Alkil
	LEU820	4.886	Pi-Alkil
Gefitinib	SER696	3.242	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	GLY697	3.158	Konvansiyonel Hidrojen Bağı
	GLY772	3.627	Karbon Hidrojen Bağı
	LEU694	3.694	Karbon Hidrojen Bağı
	GLN707	3.699	Karbon Hidrojen Bağı
	LYS721	4.597	Pi-Katyon
	LEU694	3.715	Pi-Sigma
	LEU820	3.848	Pi-Sigma
	MET742	5.780	Pi-Sülfür
	LEU694	3.839	Alkil
	LYS721	4.006	Alkil
	MET742	5.238	Alkil
	LEU764	4.157	Alkil
	VAL702	5.342	Pi-Alkil
	LEU820	5.450	Pi-Alkil
	ALA719	3.920	Pi-Alkil
	LYS721	4.619	Pi-Alkil

Bommu ve ark., (2017), kuersetin ve türevlerinin EGFR'nin 1XKK kristal yapısına bağlanma profilini moleküler yerleştirme, QSAR ve farmakofor analizleri ile değerlendirmiş ve kuersetinin EGFR bağlanma cebine uygun bir farmakofor yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

Zubair ve ark.,(2021) ise AutoDock Vina kullanarak kuersetin ve daidzin bileşiklerini EGFR tirozin kinaz domenine (EGFR-TK) karşı yerleştirme işlemi yapmış ve MET769, LEU820, ALA719 ve LYS721 gibi kritik rezidülerle etkileşimlerin kuersetinin bağlanma stabilitesinde önemli rol oynadığını raporlamıştır; bu aminoasitler kuersetinin bilinen bağlanma şekilleriyle uyum göstermektedir. Benzer şekilde Omoboyede ve ark., (2023), prostat kanseri modellerinde kuersetinin 4G5J numaralı EGFR kristal yapısına oldukça iyi bağlanma enerjileri sergilediğini ve doketaksel direncinin aşılmasına katkı sağlayabilecek bir mekanizmanın EGFR inhibisyonu olabileceğini ileri sürmüştür.

Kuersetinin EGFR ile etkileşimi yalnızca onkoloji bağlamında değil, farklı hastalık modellerinde de araştırılmıştır. Örneğin diyabetik nefropatide podosit apoptozunu azaltıcı etkisinin EGFR sinyal yolunun baskılanması ile ilişkili olduğu ve bu ilişkinin moleküler yerleştirme analizi ile desteklendiğini gösterilmiştir (Liu ve ark., 2022). Daha yakın tarihli bazı tarama çalışmalarında da kuersetin, EGFR'ye karşı yüksek bağlanma afinitesi gösteren doğal fito-kimyasallar arasında listelenmiştir. Bu çalışmalar kuersetinin EGFR'nin ATP bağlanma cebine hidrojen bağları ve π -etkileşimleri yoluyla yerleşebildiğini tutarlı biçimde göstermektedir.

Bu literatür bulguları bir arada değerlendirildiğinde, kuersetinin EGFR hedefli hesaplamalı ilaç keşfi çalışmalarında incelenmeye değer bir doğal ligand olduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmada kullanılan 4WKQ kristal yapısı ise önceki çalışmalarda yaygın olarak değerlendirilmiş 1XKK, 4G5J veya EGFR-TK komplekslerinden farklı bir konformasyonu temsil etmekte, bu yönüyle çalışmayı literatürdeki benzer yerleştirme analizlerinden ayırtmaktadır. Ayrıca referans inhibitör gefitinibin yeniden yerleştirilerek (re-dock) yöntem validasyonunun yapılmış olması, kuersetin için elde edilen bağlanma enerjisi ve etkileşim sonuçlarının metodolojik açıdan güvenilir bir temele dayandığını göstermektedir.

Bu çalışma sonucunda kuersetinin EGFR tirozin kinaz domenine güçlü bir bağlanma afinitesi gösterdiği belirlenmiştir. Kuersetin, aktif bölgedeki MET769, LYS721, GLU738 ve MET742 gibi kritik rezidülerle çoklu hidrojen bağları kurarak bağlanma ceplerini etkili bir şekilde doldurmuştur. Referans inhibitör gefitinibin bağlanma enerjisi -7.8 kcal/mol iken kuersetinin -8.9 kcal/mol değerine ulaşması, kuersetinin EGFR ile daha stabil bir kompleks oluşturabileceğini göstermektedir. Bu veriler, doğal bileşiklerin EGFR hedefli inhibitör tasarımında potansiyel adaylar arasında değerlendirilebileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

Bhuvanendran, S., Hanapi, N.A., Ahemad, N., Othman, I., Yusof, S.R., Shaikh, M.F. Embelin, a Potent Molecule for Alzheimer's Disease: A Proof of Concept From Blood-Brain Barrier Permeability, Acetylcholinesterase Inhibition and Molecular Docking Studies, *Frontiers in Neuroscience*, 13, 2019.

Bohacek, R.S., McMartin, C., Guida, W.C. The Art and Practice of Structure-Based Drug Design: A Molecular Modeling Perspective, *Medicinal Research Reviews*, 16, 3–50, 1996.

Bommu, U.D., Konidala, K.K., Pabbaraju, N., Yeguvapalli, S. Ligand-Based Virtual Screening, Molecular Docking, QSAR and Pharmacophore Analysis of Quercetin-Associated Potential Novel Analogs Against Epidermal Growth Factor Receptor, *Journal of Receptors and Signal*, 37, 600–610, 2017.

Boo, H.J., Yoon, D., Choi, Y., Kim, Y., Cha, J.S., Yoo, J. Quercetin: Molecular Insights into Its Biological Roles, *Biomolecules*, 15, 313, 2025.

DeLano, W.L. PyMOL: An Open-Source Molecular Graphics Tool, *CCP4 Newsletter*, 40, 11–14, 2002.

Diego-García, E., Peigneur, S., Tytgat, J. The Animal Toxin-Derived Peptidome: From Venoms to Potential Drugs, *Chemical Reviews*, 118, 11422–11442, 2018.

Elik, M. A Quantum Chemical Study on the Antioxidant Properties of Myricetin, Quercetin and Kaempferol Using DFT and Molecular Docking, *Cumhuriyet Science Journal*, 45, 740–749, 2024.

Ferlay, J., Ervik, M., Lam, F., Laversanne, M., Colombet, M., Mery, L., Piñeros, M., Znaor, A., Soerjomataram, I., Bray, F. Global Cancer Observatory: Cancer Today – Turkey Fact Sheet 2020, 2024.

Gabora, C.H., Riopel, J., Larochelle, N. The Emerging Role of Tyrosine Kinase Receptors in Cancer, *Cancers*, 11, 1934, 2019.

- Guex, N., Peitsch, M.C. SWISS-MODEL and the Swiss-PdbViewer: An Environment for Comparative Protein Modeling, *Electrophoresis*, 18, 2714–2723, 1997.
- Hanahan, D., Weinberg, R.A. Hallmarks of Cancer: The Next Generation, 144, 646–674, 2011.
- Horchani, M., Della Sala, G., Caso, A., D'Aria, F., Esposito, G., Laurenzana, I., Giancola, Costantino, V., Jannet, H.B., Romdhane, A., 2021. Molecular Docking and Biophysical Studies for Antiproliferative Assessment of Synthetic Pyrazolo-Pyrimidinones Tethered with Hydrazide-Hydrazones. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(5), 2742.
- Huang, L., Fu, L., Shi, Y., 2015. Tyrosine kinase inhibitors in cancer: Beyond the targets. *Current Drug Targets*, 16(10), 1121–1133.
- Lemmon, M.A., Schlessinger, J., Cell signaling by receptor tyrosine kinases. 141(7), 1117–1134-2010.
- Li, X., Zhang, Y., Chen, H. Targeting PI3K/AKT/mTOR and MAPK Signaling Pathways in Gastric Cancer, *International Journal of Molecular Sciences*, 145, 234–248, 2023.
- Liu, X.G., Lv, M.C., Huang, M.Y., Sun, Y.Q., Gao, P.Y., Li, D.Q. A Network Pharmacology Study on the Triterpene Saponins from *Medicago sativa* L. for the Treatment of Neurodegenerative Diseases, *Journal of Food Biochemistry*, 43, e12955, 2019.
- Liu, Y., Li, Y., Xu, L., Shi, J., Yu, X., Wang, X., Li, X., Jiang, H., Yang, T., Yin, X., Du, L., Lu, Q. Quercetin Attenuates Podocyte Apoptosis of Diabetic Nephropathy Through Targeting EGFR Signaling, *Frontiers in Pharmacology*, 12, 792777, 2022.
- Mirza, M.A., Mahmood, S., Hilles, A.R., Ali, A., Khan, M.Z., Zaidi, S.A. Quercetin as a Therapeutic Product: Evaluation of Its Pharmacological Action and Clinical Applications – A Review, *Pharmaceuticals*, 16(11), 1631, 2023.
- Murakami, S. *Caenorhabditis elegans* as a Model System to Study Aging of Learning and Memory, *Molecular Neurobiology*, 35(1), 85–94, 2007.
- Olanrewaju, A.A., Ibeji, C.U., Oyeneyin, O.E. Biological Evaluation and Molecular Docking of Some Newly Synthesized 3D-Series Metal(II) Mixed-Ligand Complexes of Fuoro-Naphthyl Diketone and Dithiocarbamate, *SN Applied Sciences*, 2(4), 1–11, 2020.
- Omoboyede, V., Ibrahim, O., Umar, H.I., Oke, G.A., Onile, O.S., Chukwuemeka, P.O. Computer-Aided Analysis of Quercetin Mechanism of Overcoming Docetaxel

- Resistance in Docetaxel-Resistant Prostate Cancer, Genetic Engineering & Biotechnology Journal, 21(1), 47, 2023.
- Oyeneyin, O.E., Obadawo, B.S., Olanrewaju, A.A., Owolabi, T.O., Gbadamosi, F.A., Ipinloju, N., Modamori, H.O. Predicting the Bioactivity of 2-Alkoxy carbonylallyl Esters as Potential Antiproliferative Agents Against Pancreatic Cancer (MiaPaCa-2) Cell Lines: GFA-Based QSAR and ELM-Based Models with Molecular Docking, Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 19(1), 38, 2021.
- Pettersen, E.F., Goddard, T.D., Huang, C.C., Couch, G.S., Greenblatt, D.M., Meng, E.C., Ferrin, T.E. UCSF Chimera—A Visualization System for Exploratory Research and Analysis, Journal of Computational Chemistry, 25(13), 1605–1612, 2004.
- Talevi, A. Computer-Aided Drug Design: An Overview, Methods in Molecular Biology, 1762, 1–19, 2018.
- Templeton, P.E. Platelet-Derived Growth Factor Receptor: Structure, Signaling, and Inhibition, BioDrugs, 28(4), 329–340, 2014.
- Tomiguchi, M., Shimomura, T., Kaneda, Y. Vascular Endothelial Growth Factor Receptor 2 (VEGFR2) Targeting in Cancer, Current Cancer Drug Targets, 16(1), 1–13, 2016.
- Türkiye İstatistik Kurumu. Ölüm ve Ölüm Nedeni İstatistikleri, 2021, TÜİK Haber Bülteni, 2022. (Erişim Tarihi: 11.11.2025)
- Van Zundert, G.C.P., Rodrigues, J.P.G.L.M., Trellet, M., Maheswaran, S., Ye, H., Kurkcuoglu, Z., van Dijk, M., Bonvin, A.M.J.J. The HADDOCK2.4 web server: New features and capabilities, Journal of Molecular Biology, November, 428, 11, 2119–2127, 2016.
- World Health Organization. 2018. Cancer fact sheets.(Erişim Tarihi:11.11.2025)
- Zubair, M.S., Susanti, S., Juwita, S., Hidayati, H.B., Mun'im, A., Munadi, A.K. In vitro and in silico studies of quercetin and daidzin as selective anticancer agents, Indonesian Journal of Chemistry, April, 21, 2, 1573–1584, 2021.

THE TRANSPLANTATION OF BROWN AND WHITE ADIPOSE ORGANOIDS TO CD1 NUDE MICE

Ezgi Bulut-Okumuş

Yeditepe University

ezgi.bulut@yeditepe.edu.tr - 0000-0001-5842-6088

Prof. Dr. Ayşegül Doğan

Yeditepe University

aysegul.dogan@yeditepe.edu.tr - 0000-0003-4160-2270

Abstract

Adipose tissue is a highly heterogeneous endocrine organ with essential roles in energy storage, metabolic regulation, and thermogenesis. Organoids provide a human, scalable 3D platform that recapitulates key aspects of adipose development and function, enabling metabolic disease modeling and translational applications such as drug screening and patient-specific studies. Recent research points out the significance of neuromesodermal progenitors (NMPs), a bipotent stem cell population, in the embryonic origin of adipose tissue and its differentiation. In this study¹, brown and white adipose organoids were generated from induced pluripotent stem cells (iPSCs) for the first time by differentiating into an NMP state, and UCP1 and FABP4 expression confirmed brown and white adipocyte differentiation. To evaluate the integration capability of these organoids, they were transplanted into CD1 nude mice, with tracking done using the pkh26 red dye. Transplantation into CD1 nude mice demonstrated tissue integration along with increased vascularization of the graft. Vascular structures were observed in the transplantation area, consistent with CD31 immunostaining. In the subcutaneous muscle layer at the injection site, PKH26-positive signals were detected in a dispersed pattern within adipose organoid transplantation areas. Additionally, the membrane-based protein array from the injection site showed significant upregulation of proteins following adipose organoid injection compared to controls. iPSC-derived adipose organoids providing a scalable human platform for metabolic research and future patient-oriented screening.

Keywords : adipose organoids,transplantation, neuromesodermal progenitors,

¹ This study was supported by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the Grant Number 222S560 (Project No: 222S560).

INVESTIGATION OF THE CHANGES IN CONDUCTIVITY AND SALINITY OF THE $\text{NaH}_2\text{PO}_2\text{--Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2\text{--H}_2\text{O}$ TERNARY SYSTEM WITH TEMPERATURE AND SOLUBILITY¹

Asoc.Prof.Dr.Vedat Adıgüzel

Faculty of Engineering and Architecture, Kafkas University,
vedatnursen@gmail.com - 0000-0001-7514-7144

Asist.Prof.Dr. Sevilay Demirci

Faculty of Engineering and Architecture, Kafkas University,
incesevilay@gmail.com - 0000-0003-4028-5699

Prof.Dr.Ömer Şahin

Faculty of Chemistry and Metallurgy, Istanbul Technical University,
sahinomer2002@yahoo.com - 0000-0003-4575-3762

ABSTRACT

Physicochemical methods are being developed to separate desired chemicals from solutions based solely on differences in solubility. As is known, the preparation of some chemical compounds is multi-step and therefore expensive. Hypophosphites are among these compounds. In general, hypophosphite salts are widely used as reducing agents in chemical reactions, in fire extinguishing, in mechanical and electrical applications, in electrochemistry, in corrosion prevention, in animal feed supplements, in adsorption applications, in the pharmaceutical industry, and in soil remediation. In this study, the conductivity and salinity changes of NaH_2PO_2 and $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ salts at different temperatures and concentrations were investigated. The changes in conductivity and salinity data obtained at 298, 313, and 333 K for the $\text{NaH}_2\text{PO}_2 - \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 - \text{H}_2\text{O}$ ternary system were compared. These changes were detected at 298 K (in the range of 180-642 $\mu\text{S/cm}$ and 70-350 g/kg), 313 K (in the range of 196-708 $\mu\text{S/cm}$ and 90-400 g/kg), and 333 K (in the range of 236-794 $\mu\text{S/cm}$ and 110-460 g/kg).

As temperature increases, the ion concentration of the solution increases, consequently increasing its conductivity and salinity. Table 1-3 shows that the changes in conductivity and salinity at 295 and 313 K are almost identical. The graph shows a difference at 333 K. This can be attributed to the fact that the hydrated salt, which has the structure $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ at 298

¹ This study was supported by TÜBİTAK under project number 114Z651.

and 313K, undergoes a breakdown in its hydrated structure at 333K, resulting in an increase in the H₂O concentration in the solution.

Keywords: NaH₂PO₂, Zn(H₂PO₂)₂, conductivity, salinity, solubility.

1. INTRODUCTION

Hypophosphite salts, particularly sodium hypophosphite (NaH₂PO₂) and zinc(II) hypophosphite (Zn(H₂PO₂)₂), are important compounds in phosphorus chemistry, serving as both reducing agents and sources of phosphorus. These compounds, which are salts of hypophosphoric acid, can play an active role in redox reactions due to their presence of P–H bonds.

Sodium hypophosphite (NaH₂PO₂) is a white crystalline solid with high water solubility, usually found in monohydrate form (NaH₂PO₂·H₂O). It requires controlled storage conditions as phosphine (PH₃) formation can be observed during thermal decomposition. NaH₂PO₂ is attracting attention as an alternative reducing agent in organic synthesis due to its low toxicity profile, relatively economical nature, and more environmentally friendly structure [1]. It is particularly effectively used in hydrodeiodation, reductive amination, radical-mediated transformations, and selective functional group reductions [1]. Furthermore, it plays an important role not only as a reducing agent but also as a direct phosphorus source in C–P bond formation reactions (such as phosphonate and phosphinate synthesis) [2].

Zinc(II) hypophosphite (Zn(H₂PO₂)₂) exhibits different properties in terms of structural and applied chemistry. Zn(H₂PO₂)₂ is a salt formed by the hypophosphite ion with the divalent zinc cation, and it is generally found in crystalline form and has lower solubility in water compared to NaH₂PO₂. Studies in the literature, especially on solid-liquid phase equilibria and solubility behavior, show that Zn(H₂PO₂)₂ has a pronounced tendency to crystallize and has a wide crystallization area in its phase diagrams [3,4]. This property is important for industrial crystallization processes and composition control of plating baths.

One of the most common applications of Zn(H₂PO₂)₂ is in electroless (current-free) nickel plating systems. In these systems, the hypophosphite ion acts as a reducing agent, while zinc salts can influence the solution chemistry and plating morphology. Furthermore, zinc hypophosphite derivatives have been studied in recent years as flame-retardant additives and precursors for functional materials. The presence of the metal cation alters not only the reducing properties of the hypophosphite ion but also its coordination chemistry and thermal behavior.

NaH_2PO_2 and $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ are two important representatives of hypophosphite chemistry; one is more prominent in homogeneous phase reduction reactions and organic synthesis, while the other is important in terms of solid phase properties, phase equilibria and materials chemistry applications. Current studies show that these compounds have increasing potential in the context of sustainable phosphorus chemistry and industrial applications [1–4].

Electrical conductivity (EC) in solutions depends on the concentration, charge, and mobility of free ions present in the solution and is directly affected by changes in solubility and temperature. As the solubility of an electrolyte in an aqueous medium increases, the total ion concentration in the solution rises, and consequently, the specific conductivity increases. However, at high concentrations, a decrease in molar conductivity may occur due to ion-ion interactions and the formation of an ionic atmosphere; this is particularly evident in strong electrolyte solutions and is explained by classical conductivity theories [5]. Increasing temperature reduces the viscosity of the solution, increasing ion mobility and contributing to increased solubility for most solid salts. As a result of the combination of these two effects, electrical conductivity generally increases with temperature [6]. Salinity is an indicator of the total amount of dissolved substances in a solution and exhibits a strong correlation with conductivity; therefore, conductivity measurements are widely used in determining salinity, especially in aqueous systems [7]. However, deviations of activity coefficients from ideal behavior under high ionic strength conditions lead to a nonlinear conductivity-concentration relationship, and this situation is evaluated within the framework of thermodynamic models such as the Debye-Hückel approach [5,6]. Consequently, solubility and temperature changes are fundamental parameters that determine the electrical properties of solutions through ion concentration and ion mobility.

This study investigated the changes in solubility, electrical conductivity, and salinity of NaH_2PO_2 and $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ salts at different temperatures. The correlation between the changes in conductivity and salinity and the changes in the composition of the solutes, and their prediction for similar experiments, were investigated.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, conductivity and salinity measurements were evaluated on samples taken from the liquid phase of ternary NaH_2PO_2 - $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - H_2O solid-liquid phase compositions at temperatures of 298, 313, and 333K, at all test points obtained until the eutectic point is reached.

In the studies, salinity and conductivity measurements of the system were performed using a Cond 315I/SET (accuracy $\pm 0.5\%$, $\pm 0.1\text{ K}$) conductometer.

The solubility change shown in Tables 1-3 can be examined in two parts. First, the eutectic point (E) is reached by adding $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ to a saturated NaH_2PO_2 solution in specific ratios, and similarly, the eutectic point is reached by adding NaH_2PO_2 to a saturated $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ solution in specific ratios. Samples are taken from the solid and liquid phases created at each test point. Zn^{++} and H_2PO_2^- concentration analyses are performed on the collected samples to determine the percentage compositions of the aforementioned salts. Conductivity and salinity measurements are also taken from the liquid phase. Using the obtained percentage composition data, the composition of 100 moles of the salt mixture at the relevant test point is determined in moles for each salt. The conductivity-mole composition and salinity-mole composition graphs shown in Figures 1 and 2 are plotted and interpreted.

Table 1. Physicochemical analysis data of the NaH_2PO_2 - $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - H_2O ternary system at 298K [3]

No	Liquid Phase (% mass)			Chemical Composition of The Solid Phase	100 mole Salt Mixture		Conductivity (μS/cm)	Salinity (g/kg)
	NaH ₂ PO ₂	Zn(H ₂ PO ₂) ₂	H ₂ O		NaH ₂ PO ₂	Zn(H ₂ PO ₂) ₂		
1	0,00	18,61	81,39	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	0,00	100,00	180	70
2	10,65	10,85	78,5	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	68,55	31,45	189	80
3	18,52	7,28	74,2	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	84,96	15,04	271	130
4	24,73	5,48	69,79	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	90,93	9,07	352	180
5	30,21	4,00	65,79	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	94,37	5,63	411	214
6P1	30,81	3,83	65,36	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	94,70	5,30	419	220
7	36,98	2,17	60,85	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	97,43	2,57	474	250
8	40,34	1,86	57,8	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	97,97	2,03	501	268
9	43,90	1,85	54,25	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O	98,14	1,86	555	300
10E	144,14	1,89	53,97	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O	98,11	1,89	580	310
11E	144,14	1,89	53,92	Zn(H ₂ PO ₂) ₂ .H ₂ O+NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O	98,06	1,94	580	310
12	45,60	1,19	53,21	NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O	98,84	1,16	537	290
13	47,40	0,64	51,96	NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O	99,40	0,60	600	295
14	51,96	0,00	48,04	NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O	100,00	0,00	642	350

Table 2. Physicochemical analysis data of the NaH_2PO_2 - $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - H_2O ternary system at 313K [8]

No	Liquid Phase (% mass)			Chemical Composition of The Solid Phase	100 mole Salt Mixture		Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinity (g/kg)
	NaH_2PO_2	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	H_2O		NaH_2PO_2	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$		
1	0,00	22,22	77,78	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,00	100,00	196	90
2	13,86	11,9	74,24	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	72,11	27,89	286	140
3	29,96	10,95	59,09	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	85,87	14,13	373	193
4	34,80	6,53	58,67	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	92,21	7,79	463	250
5	42,17	3,09	54,74	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	96,81	3,19	542	295
6E	56,80	1,62	41,58	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	98,73	1,27	733	410
7E	56,80	1,62	41,58	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	98,73	1,27	733	410
8	57,03	0,00	42,97	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	100,00	0,00	708	400

Table 3. Physicochemical analysis data of the NaH_2PO_2 - $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - H_2O ternary system at 333K [8]

No	Liquid Phase (% mass)			Chemical Composition of The Solid Phase	100 mole Salt Mixture		Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinity (g/kg)
	NaH_2PO_2	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	H_2O		NaH_2PO_2	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$		
1	0,00	27,23	72,77	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	0,00	100,00	236	110
2	8,48	18,98	72,54	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	49,80	50,20	261	130
3	18,08	16,52	65,4	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	70,85	29,15	345	180
4	25,28	15,95	58,77	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	77,87	22,13	380	207
5	29,17	13,70	57,13	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	82,54	17,46	409	220
6E	37,94	7,05	55,01	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	92,28	7,72	492	270
7E	37,94	7,05	55,01	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	92,28	7,72	492	270
8	40,78	4,20	55,02	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	95,57	4,43	610	343
9	50,12	1,40	48,48	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	98,76	1,24	724	410
10	61,13	0,00	38,87	$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	100,00	0,00	794	460

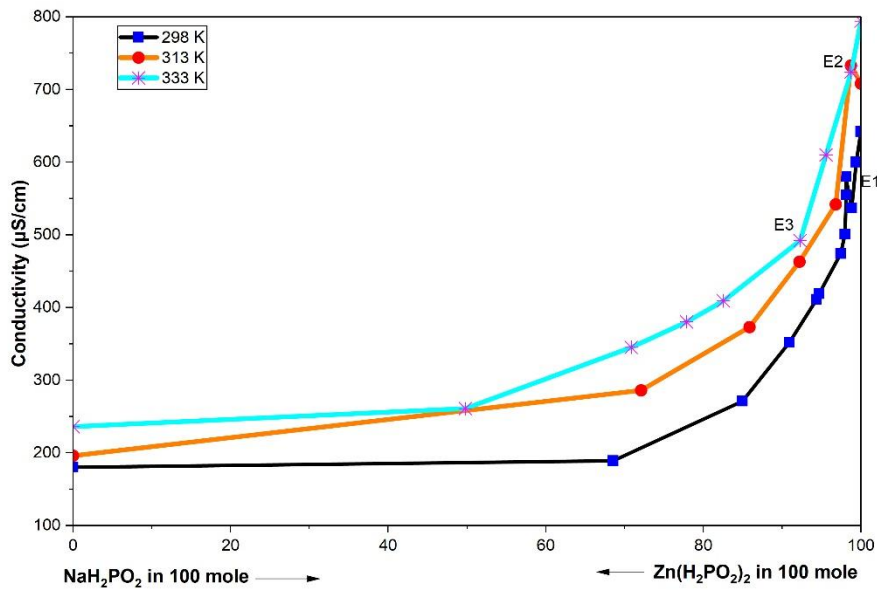


Figure 1. Change in conductivity versus solubility at 298, 313, and 333K.

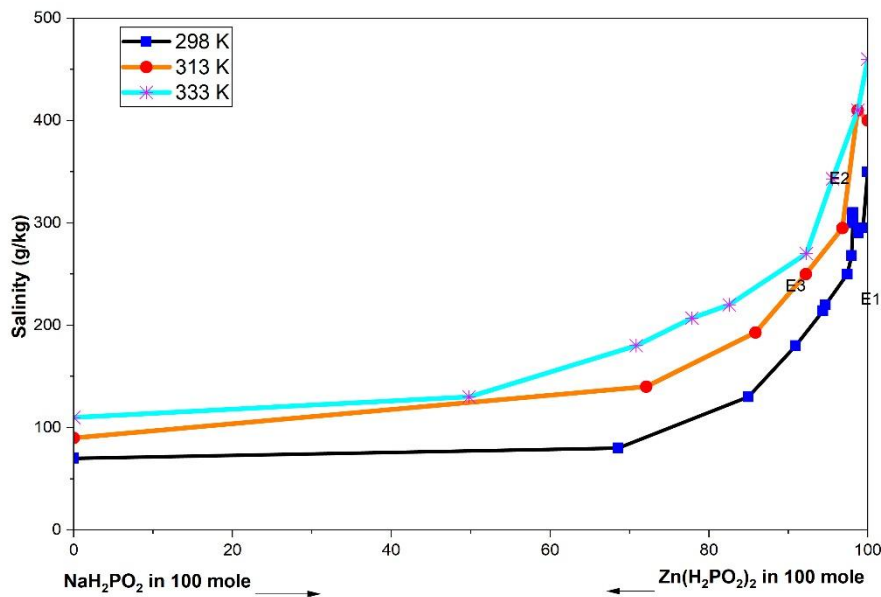


Figure 2. Change in salinity versus solubility at 298, 313, and 333K.

3. RESULTS and DISCUSSION

In solution environments, electrical conductivity and salinity are directly proportional to the increase in solubility (increase in the amount of ions). In general, solubility increases with temperature. In solid-liquid phase equilibria, solubility varies according to the characteristics of the solutes. The solubility, conductivity, and salinity changes of the NaH₂PO₂-Zn(H₂PO₂)₂-H₂O ternary system investigated at 298, 313, and 333 K were found to be consistent with the

eutectic point. When establishing phase equilibria in the investigated solid-liquid phase systems, it was observed that the $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hydrate salt dehydrated at 333 K. The total amount of dissolved salt is approximately between 18-62%, and the amount of water in the medium varies between 82-38%. In all solutions, as the total amount of dissolved salt increases, the amount of water naturally decreases, and consequently, the ion concentration also increases. The changes in conductivity and salinity data obtained at 298, 313, and 333 K for the NaH_2PO_2 - $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - H_2O ternary system were compared. These changes were detected at 298 K (in the range of 180-642 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 70-350 g/kg), 313 K (in the range of 196-708 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 90-400 g/kg), and 333 K (in the range of 236-794 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 110-460 g/kg). As a result, conductivity and salinity amounts also increase. As temperature increases, the ion concentration of the solution increases, consequently increasing its conductivity and salinity. Table 1-3 shows that the changes in conductivity and salinity at 295 and 313 K are almost identical. The graph shows a difference at 333 K. This can be attributed to the fact that the hydrated salt, which has the structure $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ at 298 and 313K, undergoes a breakdown in its hydrated structure at 333K, resulting in an increase in the H_2O concentration in the solution (Table 1-3 and Figure 1,2).

References

- [1] Seema, V., Kamsali, M.M.A., Alakonda, L.M., Varala, R., Hussein, M., Alam., M.M., Mini-update on the applications of Hypophosphites in organic synthesis with a special focus on sodium hypophosphite (NaH_2PO_2). Tetrahedron Letters, 2026.
- [2] Panda, T.K., Banerjee I., Recent advances in the Carbon–Phosphorus (C–P) bond formation from unsaturated compounds by s- and p-block metals. Organic & Biomolecular Chemistry, 2021.
- [3] Demirci, S., Adıgüzel, V., Şahin, Ö., The solubilities and physicochemical properties of NaH_2PO_2 – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – H_2O ternary system at 298.15 K. Journal of Chemical & Engineering Data, 2016.
- [4] Demirci, S., Adıgüzel, V., Şahin, Ö., NaCl – NaH_2PO_2 – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ – H_2O dörtlü sisteminin 333.15 K’de katı–sıvı faz dengelerinin incelenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2018.
- [5] Robinson, R. A., Stokes, R. H. *Electrolyte Solutions*. Butterworths, London, 1955.
- [6] Atkins, P., Paula, J. *Physical Chemistry*. Oxford University Press, 2021.
- [7] <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/14838/ffffe623f2654f4ea96ea3ceb22de16f/ISO-7888-1985.pdf> (access date 23.02.2026)

[8] S. Demirci, V. Adıgüzel, M.S. İzgi., Solubility behavior of Na^+ , Zn^{2+} / H_2PO_2^- // H_2O ternary system at different temperatures. International Conference on Applications in Chemistry and Chemical Engineering, 8-13, Bosna, 2017.

INVESTIGATION OF CONDUCTIVITY AND SALINITY BEHAVIOR IN AQUEOUS SYSTEMS CONTAINING Na⁺, Zn²⁺ AND Cl⁻ IONS¹

Asoc.Prof.Dr.Vedat Adıgüzel

Faculty of Engineering and Architecture, Kafkas University,

vedatnursen@gmail.com - 0000-0001-7514-7144

Asist.Prof.Dr. Sevilay Demirci

Faculty of Engineering and Architecture, Kafkas University,

incesevilay@gmail.com - 0000-0003-4028-5699

Prof.Dr.Ömer Şahin

Faculty of Chemistry and Metallurgy, Istanbul Technical University,

sahinomer2002@yahoo.com - 0000-0003-4575-3762

ABSTRACT

It is known that many chemicals are synthesized, recovered, and obtained under more favourable conditions using physicochemical analysis methods, and diagrams showing their entire behaviour are created for later use. The physicochemical structure of a solution changes depending on the type and concentration of ions it contains. For example, its density, viscosity, surface tension, conductivity, and salinity.

The electrical conductivity of solutions depends on the ability of the solutes to dissociate into ions, as well as on temperature and concentration. Ionic compounds (acids, bases, and salts) that dissolve in water form positively and negatively charged ions. These free ions move under an electric field, enabling the conduction of electric current. As the number of ions and their mobility increase, the electrical conductivity of the solution also increases.

This study investigated the variation of electrical conductivity and salinity of an aqueous solution containing Na⁺, Cl⁻, and Zn⁺² ions with temperature and ionic charge at 298, 313, and 333 K. Conductivity and salinity measurements of samples taken from each test point of the system were performed using a Cond 315i/SET conductometer. Conductivity values ranged from 588-1762 µS/cm at 298 K, from 438-2170 µS/cm at 313 K, and from 603-1093 µS/cm at

¹ This study was supported by TÜBİTAK under project number 114Z651.

333 K. These values are attributed to the change in ionic charge of the solution due to the formation of $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnCl}_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ hydrate salts, as well as $2\text{NaCl} \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $2\text{NaCl} \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ double salts, which vary with temperature.

Keywords: NaCl, ZnCl_2 , conductivity, salinity, solubility

1. INTRODUCTION

In industrial and recycling systems, the most important goal is to obtain the product in the most suitable and economical way. In studies using physicochemical methods, techniques are being developed to separate the desired chemical from a solution based solely on the difference in solubility, without the addition of any chemical additives.

Using physicochemical analysis methods, the "Composition-Property" diagrams drawn based on the investigation of ternary, quadruple, and pentavalent water-salt systems established from the salts contained in many lakes, seas, and underground water sources have been used to obtain, recover, separate from mixtures, and technologically produce many valuable chemical substances.

For example, the isolation of mirabilite crystal hydrate $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ crystals from the waters of Lake Kara in the Caspian Sea was possible as a result of investigating the solubility and phase equilibria in the quaternary water-salt system Na^+ , $\text{Mg}^{+2} // \text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{-2} // \text{H}_2\text{O}$ using physicochemical methods [1].

Today, even specialized institutes have been established to conduct research in lakes using physicochemical analysis methods. The Qinghai Institute of Salt Lakes Chinese Academy of Science in China can be given as an example [2]. A procedure for separating many valuable chemicals has been established using physicochemical methods [3-7].

As is known, solutions are divided into two groups according to their ability to conduct electric current. Solutions that conduct electric current are called ionic solutions if the solute dissociates into ions while dissolving. Ionic solutions conduct electric current. Therefore, they are also known as electrolyte solutions. Examples include acid and base solutions, and salt solutions. When NaCl salt dissolves in water, it dissociates into Na^+ and Cl^- ions.

Solutions that do not conduct electricity: Covalently bonded compounds disperse as molecules when dissolved in a solvent. Such solutions do not conduct electricity. The dissolution of alcohol in water is a good example [8].

An electrolyte is a medium that is electrically conductive due to the movement of ions, but does not conduct electrons. It contains most soluble salts, acids, and bases dissolved in a polar solvent such as water. After dissolution, the substance separates into cations and anions that are evenly distributed in the solvent [9, 10].

The salinity of a solution is determined by weighing the remaining substance at 480°C after all carbonates in a kilogram of sample have been oxidized to oxides, and bromides and iodides have been converted to chlorides [11]. This value varies depending on the type and variety of ions contained in the sample [12].

This study investigated the changes in solubility, electrical conductivity, and salinity of NaCl and ZnCl₂ salts at different temperatures. The correlation between changes in conductivity and salinity and changes in the composition of the solutes, and their prediction for similar experiments, were investigated.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, conductivity and salinity measurements were evaluated on samples taken from the liquid phase of ternary NaCl-ZnCl₂-H₂O solid-liquid phase compositions at temperatures of 298, 313, and 333K, at all test points obtained until the eutectic point is reached. Salinity and conductivity measurements of the system were performed using a Cond 315İ/SET (accuracy $\pm 0.5\%$, ± 0.1 K) conductometer.

The solubility change shown in Tables 1-3 can be examined in two parts. First, the eutectic point (E) is reached by adding ZnCl₂ in specific proportions to a saturated NaCl solution, and similarly, the eutectic point is reached by adding NaCl in specific proportions to a saturated ZnCl₂ solution. Samples are taken from the solid and liquid phases created at each test point. Zn⁺⁺ and Cl⁻ concentration analyses are performed on the collected samples to determine the percentage compositions of the aforementioned salts. Conductivity and salinity measurements are also taken of the liquid phase. Using the obtained percentage composition data, the composition of 100 moles of salt mixture at the relevant test point is determined in moles for each salt. The conductivity-molar composition and salinity-molar composition graphs shown in Figures 1 and 2 are plotted and interpreted.

Table 1. Physicochemical analysis data of the NaCl-ZnCl₂-H₂O ternary system at 298K [13].

No	Liquid Phase			Chemical Composition of The Solid Phase	100 mole Salt		Conductivity Salinity	
	(% mass)				Mixture		(μS/cm)	(g/kg)
	NaCl	ZnCl ₂	H ₂ O					
					NaCl	ZnCl ₂		
1	26,42	0	73,58	NaCl	100,00	0,00	588	320
2	24,5	14,81	60,69	NaCl	79,40	20,60	869	496
3	22,61	25,7	51,69	NaCl	67,21	32,79	1150	660
4	20,36	33,95	45,69	NaCl	58,28	41,72	1355	790
5	19,2	36,94	43,86	NaCl	54,77	45,23	1412	842
6P1	17,99	39,7	42,31	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	51,36	48,64	1469	869
7	14,15	47,03	38,82	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	41,21	58,79	1551	910
8	10,77	53,4	35,83	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	31,97	68,03	1595	923
9	8,04	59,3	32,66	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	24,00	76,00	1627	931
10	6,75	62,2	31,05	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	20,18	79,82	1640	942
11E1	4,68	67,68	27,64	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O+ ZnCl ₂ .2H ₂ O	13,87	86,13	1644	970
12E1	4,68	67,68	27,64	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O+ ZnCl ₂ .2H ₂ O	13,87	86,13	1644	970
13	3,46	70,71	25,83	ZnCl ₂ .2H ₂ O	10,23	89,77	1680	990
14	2,56	73,22	24,22	ZnCl ₂ .2H ₂ O	7,53	92,47	1720	1015
15	0	80,13	19,87	ZnCl ₂ .2H ₂ O	0,00	100,00	1762	1050

Table 2. Physicochemical analysis data of the NaCl-ZnCl₂-H₂O ternary system at 313K [13]

No	Liquid Phase			Chemical Composition of The Solid	100 mole Salt		Conductivity	Salinity
	(% mass)				Mixture			
	NaCl	ZnCl ₂	H ₂ O		NaCl	ZnCl ₂		
1	27,25	0	72,75	NaCl	100,00	0,00	438	230
2	22,92	17,33	59,75	NaCl	75,50	24,50	918	530
3	21,78	27,46	50,76	NaCl	64,89	35,11	1140	670
4	20,97	32,27	46,76	NaCl	60,22	39,78	1338	790
5P2	19,16	40,89	39,95	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	52,19	47,81	1590	950
6	13,5	49,88	36,62	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	38,67	61,33	1577	950
7	11,26	55,29	33,45	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O	32,18	67,82	1643	860
8E2	6,86	64,15	28,99	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O+ZnCl ₂ .2H ₂ O	19,94	80,06	1866	1130
9E2	6,86	64,15	28,99	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .2H ₂ O+ZnCl ₂ .2H ₂ O	19,94	80,06	1866	1130
10	2,78	70,05	27,17	ZnCl ₂ .2H ₂ O	8,46	91,54	1903	1180
11	1,52	72,7	25,78	ZnCl ₂ .2H ₂ O	4,64	95,36	1953	1200
12	0	81,1	18,9	ZnCl ₂ .2H ₂ O	0,00	100,00	2170	1342

Table 3. Physicochemical analysis data of the NaCl-ZnCl₂-H₂O ternary system at 333K [13]

Liquid Phase					100 mole Salt	Conductivity Salinity		
No	(% mass)			Chemical Composition of The Solid	Mixture		(μS/cm)	(g/kg)
	NaCl	ZnCl ₂	H ₂ O		NaCl	ZnCl ₂		
1	27,24	0	72,96	NaCl	100,00	0,00	603	340
2	23	27,83	49,17	NaCl	65,82	34,18	1170	671
3	18,99	46,22	34,79	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	48,91	51,09	1400	800
4	14,16	57,61	28,23	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	36,41	63,59	1539	872
5	13,01	59,8	27,19	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	33,64	66,36	1559	884
6	12,33	61,8	25,87	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	31,73	68,27	1582	896
7	11,54	63,03	25,43	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	29,90	70,10	1608	911
8	9,42	67,38	23,20	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	24,57	75,43	1667	960
9	4,99	72,24	22,77	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O	13,86	86,14	1724	1036
10E3	3,57	73,03	23,40	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O+ZnCl ₂ .0,5H ₂ O	10,22	89,78	1754	1080
11E3	3,57	73,03	23,40	NaCl+2NaCl.ZnCl ₂ .3H ₂ O+ZnCl ₂ .0,5H ₂ O	10,22	89,78	1754	1080
12	2,17	75,5	22,33	ZnCl ₂ .0,5H ₂ O	6,28	93,72	1480	876
13	1,19	78,3	20,51	ZnCl ₂ .0,5H ₂ O	3,42	96,58	1294	742
14	0	83,2	16,80	ZnCl ₂ .0,5H ₂ O	0,00	100,00	1093	650

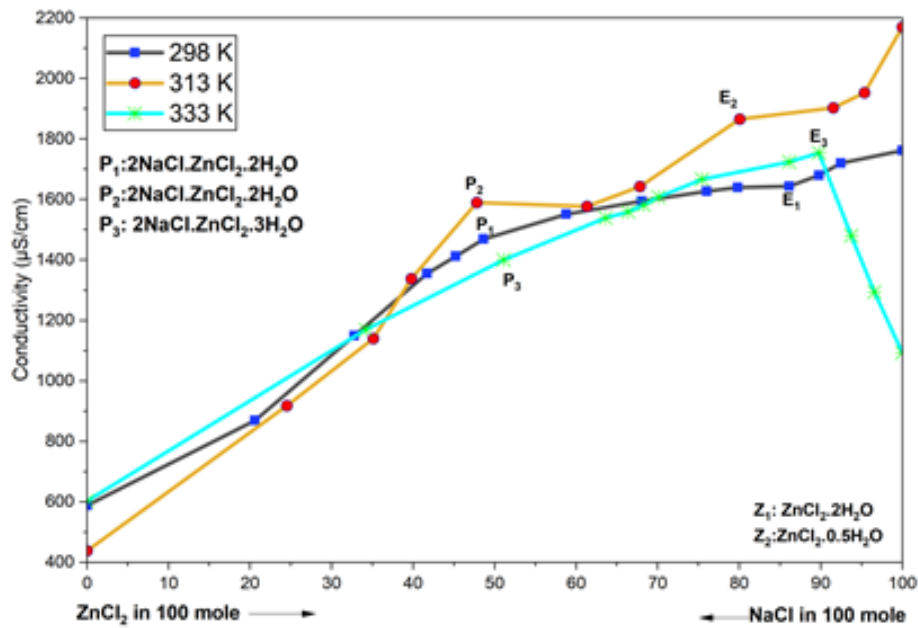


Figure 1. Change in conductivity versus solubility at 298, 313, and 333K.

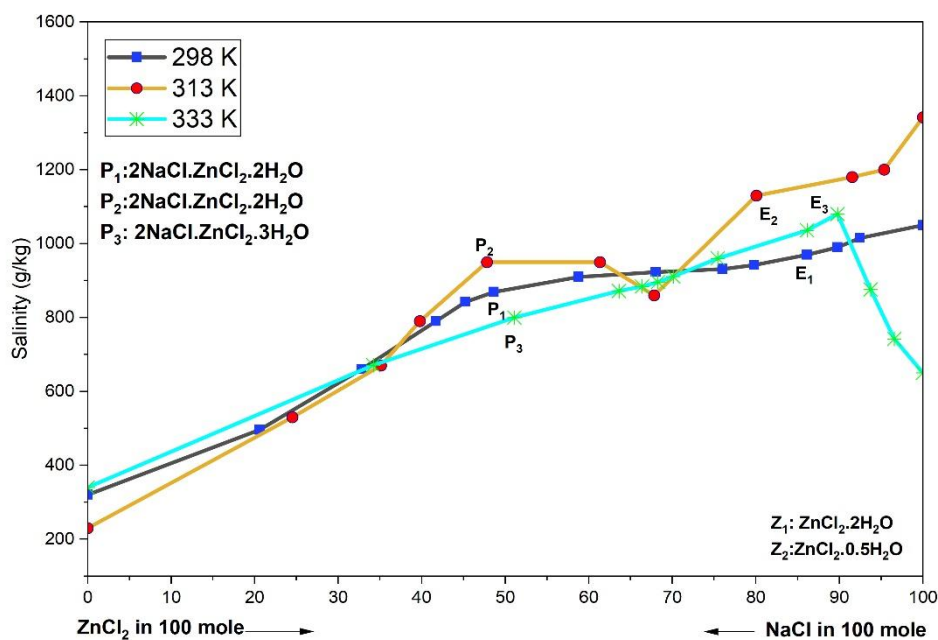


Figure 2. Change in salinity versus solubility at 298, 313, and 333K.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In solution environments, electrical conductivity and salinity are directly proportional to the increase in solubility (increase in ion concentration). Generally, solubility increases with temperature. In solid-liquid phase equilibria, solubility varies according to the characteristics of the solutes. The study of the NaCl-ZnCl₂-H₂O ternary system at 298, 313, and 333K shows that the changes in solubility, conductivity, and salinity are consistent with the eutectic point. Binary salt formation was observed during the establishment of phase equilibria in the investigated solid-liquid phase systems (P1-3). Binary salt formation also leads to changes in solubility equilibria. At all three temperatures studied, it was observed that conductivity and salinity increased more rapidly up to the P1-3 test points, but this increase slowed down after the P1-3 points. The total amount of dissolved salt is approximately between 26-81%, and the amount of water in the solution varies between 73-16%. In all solutions, as the total amount of dissolved salt increases, the amount of water naturally decreases, and consequently, the ion concentration also increases. As a result, conductivity and salinity levels also increase. However, as the binary salts begin to precipitate (P1-3), the salt concentration in the medium begins to decrease. This is because the binary salt consists of both NaCl and ZnCl₂. As the binary salt precipitates, it causes a decrease in the concentration of both salts. This indirectly

causes a slowdown in the increase of conductivity and salinity values (Table 1-3 and Figure 1,2).

References

- [1] Anosov, V.Y., Ozerova, M.I., Fialkov, V.Y., *Osnovy Fizikokhimicheskogo Analiza*, Moscow:İzd.Nauka. 1987.
- [2] <http://english.isl.cas.cn/>, 23/08/2013. (access date 23.02.2026).
- [3] Wang, S., Deng, T., (Solid + liquid) isothermal evaporation phase equilibria in the aqueous ternary system ($\text{Li}_2\text{SO}_4+\text{MgSO}_4+\text{H}_2\text{O}$) at $T= 308.15$ K, *J. Chem. Thermodynamics*, 40, 1007–1011, 2008.
- [4] Zhang, K., et al, Liquid–Solid Equilibria in the Quaternary System $\text{KCl-KBr-K}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ at 348 K, *J. Chem. Eng. Data*, 58, 115–117, 2013.
- [5] Liu, M., et al, Phase Equilibrium in the Aqueous Ternary System $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ at 298.15 K, *J.Chem. Eng. Data*, 58, 132–135, 2013.
- [6] Erge, H., et al, Study of the solubility in $\text{Na-Ba-Cl-H}_2\text{O}$, $\text{Na-Ba-H}_2\text{PO}_2-\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaCl-H}_2\text{PO}_2-\text{H}_2\text{O}$, and $\text{Ba-Cl-H}_2\text{PO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ternaries, and in Na^+ , $\text{Ba}^{2+}/\text{Cl}^-$, $(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$ reciprocal quaternary system at 0 °C, *Fluid Phase Equilibria*, 344, 13–18. 2013.
- [7] Alisoglu, V., Adiguzel, V., Etude de la solubilit  et des phases en  quilibre dans le syst me quaternaire r ciproque K^+ , $\text{Mn}^{2+}/\text{Br}^-$, $(\text{H}_2\text{PO}_2)^-//\text{H}_2\text{O}$, *C. R. Chimie* 11, 938-941, 2008.
- [8]<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87%C3%B6zelti#:~:text=Elektrik%20ak%C4%B1m%C4%B1n%C4%B1%20ilet n%20%C3%A7%C3%B6zelt ler%3A%20%C3%87%C3%B6z%C3%BCnen,baz%20%C3%A7%C3%B6zelt leri%2C%20tuz%20%C3%A7%C3%B6zelt leri%20verilebilir> (access date 23.02.2026)
- [9] Petrovic, S., *Battery Technology Crash Course: A Concise Introduction*. Springer Cham, 2021.
- [10] Winie, T., Arof, A.K., Thomas S. *Polymer Electrolytes: Characterization Techniques and Energy Applications*. Wiley, 2019.
- [11] Egemen,  ., Sunlu, U., *Su Kalitesi*, İzmir:Ege  niversitesi Su  r nleri Fak ltesi Yayınevi, 2003.
- [12] McCleskey R.B., et.al., Salinity and total dissolved solids measurements for natural waters: An overview and a new salinity method based on specific conductance and water type. *Applied Geochemistry*, 2023.

- [13] Demirci, S., Adiguzel, V., Sahin, O. Solid–liquid phase equilibria in the ternary systems $\text{H}_2\text{O}+\text{ZnCl}_2+\text{NaCl}$ at temperatures of 298, 313 and 333 K. J. Serb. Chem. Soc. 87 (2) 263–273, 2022.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE APPLICATIONS

Prof. Dr. Reza Jalali, Dr. Soraya Mahmoudi, Ali Karimi
Faculty of Chemical Engineering, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

Metal-organic frameworks (MOFs) represent a transformative class of porous materials specifically engineered for selective carbon dioxide capture from industrial flue gases, addressing the pressing global challenge of greenhouse gas mitigation. This research details the rational design and synthesis of zirconium-based MOF variants incorporating mixed carboxylate-imidazolate linkers that create hierarchical pore architectures balancing adsorption capacity with diffusion kinetics. Solvothermal synthesis under modulated acidic conditions produces defect-engineered frameworks exhibiting exceptional chemical stability under humid flue gas conditions typical of coal-fired power plants. Comprehensive characterization through powder X-ray diffraction confirms retention of UiO-66 topology while nitrogen physisorption reveals complementary micro-mesopore networks facilitating cooperative CO₂ filling mechanisms. The strategic incorporation of polar functional groups enhances quadrupole interactions central to CO₂ selectivity over nitrogen, while open metal sites provide strong binding energies exceeding physisorption limits of traditional adsorbents. Breakthrough experiments simulating post-combustion capture conditions demonstrate superior working capacities alongside facile thermal swing regeneration at modest temperatures compatible with waste heat recovery. Theoretical modeling elucidates structure-performance relationships guiding linker selection for optimized isosteric heats of adsorption. Dynamic column performance underscores practical advantages over aqueous amine scrubbing including dramatically reduced energy penalties and corrosion concerns. Beyond capture efficiency, these materials address cyclic stability challenges through robust metal-ligand coordination resisting degradation mechanisms prevalent in alkaline flue gas environments. Integration potential within existing power plant infrastructure positions these frameworks as enabling technology accelerating carbon capture and sequestration deployment. The research advances fundamental understanding of cooperative adsorption phenomena while delivering industrially-viable sorbents positioned at the nexus of materials discovery and energy transition imperatives.

Keywords: metal-organic frameworks, CO₂ capture, post-combustion adsorption, hierarchical porosity, defect engineering

DEVELOPMENT OF EFFICIENT HETEROGENEEOUS CATALYSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OILS

Assis. Prof. Dr. Hassan Ahmadi, Fatemeh Rezaei

Faculty of Chemical Engineering, Shiraz University, Iran

ABSTRACT

Biodiesel production from waste cooking oils represents sustainable valorization of lipid waste streams abundant in developing economies while addressing energy security concerns through domestic renewable fuel production. This research develops highly active, magnetically-recoverable heterogeneous base catalysts through controlled deposition of potassium-modified calcium oxides onto nanostructured supports exhibiting exceptional activity in challenging high-free-fatty-acid feedstocks. The catalyst architecture facilitates rapid transesterification through hierarchical meso/macropore networks exposing abundant basic sites while resisting soap formation prevalent with homogeneous alkali catalysts. Comprehensive characterization elucidates structure-activity relationships guiding support selection and promoter optimization. The synthetic protocol produces highly crystalline CaO nanoparticles uniformly dispersed within mesoporous silica frameworks preventing active phase sintering under reaction conditions. Operando spectroscopy reveals dynamic surface reconstruction generating optimal basic site densities during methanol activation. Process optimization establishes mild reaction conditions compatible with waste oil impurities while achieving quantitative conversion through efficient three-phase mass transfer. Catalyst lifetimes extend through multiple reaction cycles with minimal potassium leaching due to strong metal-support interactions. Economic analysis confirms dramatic cost reductions versus centralized refining approaches through decentralized processing at restaurants and food processing facilities. Environmental lifecycle assessment documents substantial greenhouse gas reductions alongside diversion of waste oils from sewer systems. Integration potential within existing restaurant infrastructure positions this technology for immediate deployment. The research advances fundamental understanding of base-catalyzed transesterification mechanisms while delivering practical catalyst systems enabling biodiesel production from low-value feedstocks previously considered unsuitable for chemical conversion. Beyond technical innovation, the work addresses circular economy principles transforming food waste into transportation fuels through elegant materials chemistry.

Keywords: heterogeneous catalysis, biodiesel production, waste cooking oils, transesterification, base catalysts

QUANTUM DOTS DOPED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ADVANCED SOLAR CELL DEVICES

Dr. Ahmed El-Sayed, Nadia Hassan, Karim Abdel

Faculty of Science, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

Quantum dot-polymer nanocomposites represent sophisticated optoelectronic materials combining colloidal nanocrystal excitonic properties with polymeric charge transport matrices for next-generation photovoltaic applications. This research develops stable CdSe/ZnS core-shell quantum dots embedded within conductive polymer matrices through controlled ligand exchange enabling intimate electronic coupling at organic-inorganic interfaces. The nanocomposite architecture facilitates efficient exciton dissociation through type-II band alignment while suppressing destructive charge recombination pathways. Spectroscopic characterization confirms retention of quantum confinement effects alongside interfacial charge transfer evidenced through transient absorption spectroscopy. Device optimization reveals optimal quantum dot loading densities balancing light harvesting with charge extraction. The polymer matrix provides mechanical robustness and processability advantages over rigid inorganic films while passivation shells prevent nanocrystal aggregation maintaining monodisperse size distributions essential for photovoltaic performance. Morphological analysis confirms uniform dispersion preventing aggregation-induced quenching while preserving film uniformity critical for device efficiency. Photovoltaic testing demonstrates enhanced incident photon-to-current efficiency across visible spectrum alongside improved fill factors reflecting reduced geminate recombination losses. Operational stability testing confirms retention of performance under prolonged illumination and thermal cycling through robust interfacial bonding resistant to photo-oxidative degradation. Theoretical modeling elucidates energy level alignment optimizing device architecture. Integration compatibility with roll-to-roll processing enables cost-effective large-area fabrication. The nanocomposite approach addresses fundamental limitations of both purely organic and inorganic photovoltaics combining solution processability with inorganic carrier mobilities. Beyond device performance gains, the materials platform enables spectral tuning through nanocrystal size control alongside mechanical flexibility advantageous for building-integrated applications. Research advances fundamental understanding of hybrid optoelectronic interfaces while delivering practical photovoltaic materials compatible with existing manufacturing infrastructure.

Keywords: quantum dots, polymer nanocomposites, solar cells, optoelectronic interfaces, charge transfer

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN MEDICINAL PLANT EXTRACTS

Assis. Prof. Dr. Mohamed Salem, Fatma Ibrahim

Faculty of Science, Mansoura University, Egypt

ABSTRACT

Green synthesis of silver nanoparticles through plant-mediated reduction represents sustainable nanotechnology leveraging natural reducing and capping agents abundant in medicinal flora. This research explores Egyptian desert plants rich in polyphenolic metabolites serving dual roles as bioreductants and stabilizers producing stable, biologically-active silver nanostructures. The phytochemical diversity provides complementary functional groups facilitating controlled nanoparticle nucleation and growth while preventing aggregation through steric/electrostatic stabilization. Characterization confirms crystalline face-centered cubic morphology alongside organic corona preserving pharmacological activities. The biogenic capping enhances biocompatibility critical for biomedical deployment while enabling aqueous dispersion compatible with physiological conditions. Biological evaluation demonstrates potent antimicrobial efficacy against multidrug-resistant clinical isolates through multifaceted mechanisms including membrane disruption, reactive oxygen species generation, and biofilm inhibition. The broad-spectrum activity spans Gram-positive cocci, Gram-negative bacilli, and fungal pathogens surpassing commercial silver formulations. Anticancer screening reveals selective cytotoxicity toward malignant cell lines through apoptotic induction sparing normal fibroblasts. Antioxidant evaluation confirms free radical scavenging capacity comparable to synthetic standards through polyphenolic stabilization. The green protocol eliminates hazardous reducing agents and organic solvents producing environmentally-benign nanoparticles suitable for consumer applications. Scalability advantages include ambient reaction conditions and inexpensive botanical precursors abundant in arid regions. Process optimization establishes reproducible monodisperse production suitable for industrial translation. Mechanistic studies elucidate phytochemical-nanoparticle interactions guiding rational feedstock selection. Regulatory advantages position green nanoparticles favorably within emerging nanomaterials safety frameworks. Beyond antimicrobial applications, multifunctional surface chemistry enables conjugation with therapeutic payloads for targeted delivery. Research establishes desert flora as sustainable nanotechnology platform addressing global antibiotic resistance crisis while advancing circular bioeconomy principles through waste biomass valorization.

Keywords: green synthesis, silver nanoparticles, medicinal plants, antimicrobial nanomaterials, desert biotechnology

ADVANCED MEMBRANE TECHNOLOGIES FOR DESALINATION IN ARID GULF COUNTRIES

Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori, Noor Hassan, Dr. Fatima Rahman

Faculty of Engineering, King Saud University, Saudi Arabia

ABSTRACT

Desalination membrane technology addresses water security challenges across water-stressed Gulf Cooperation Council nations dependent on seawater reverse osmosis for 70% municipal supply. This research advances thin film nanocomposite membranes incorporating aquaporin-mimetic metal-organic framework nanoparticles within crosslinked polyamide selective layers. The hybrid architecture achieves unprecedented water permeability through enhanced free volume and hydrophilicity while maintaining near-perfect salt rejection. Mixed matrix morphology optimization balances nanoparticle dispersion preventing interfacial voids compromising performance. Surface charge modification enhances antifouling characteristics critical for Red Sea hypersaline feeds prone to algal biofilm formation. Long-term stability testing confirms sustained flux under continuous hypersaline operation surpassing polymeric competitors. Module-level testing demonstrates scalability through spiral wound element fabrication maintaining performance uniformity. Techno-economic modeling confirms lifecycle cost advantages through reduced energy consumption and extended membrane lifetimes. Integration compatibility with existing megaplant infrastructure facilitates retrofit opportunities minimizing capital expenditures. Environmental lifecycle assessment documents reduced brine discharge impacts through enhanced recovery ratios. The technology addresses fundamental transport limitations constraining conventional desalination enabling dramatic increases in global desalination capacity. Modular scalability supports decentralized deployment serving remote communities and industrial facilities. Beyond municipal applications, high-recovery characteristics enable industrial process water production minimizing freshwater imports. Research advances fundamental understanding of water transport through nanostructured polymers while delivering practical solutions addressing 100 million m³ daily Gulf desalination demand. Strategic positioning within national water security visions ensures sustainable deployment roadmap achieving energy and cost targets essential for long-term viability.

Keywords: desalination membranes, thin film nanocomposites, water security, Gulf Cooperation Council, antifouling surfaces

NANOSTRUCTURED CATALYSTS FOR HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING

Omar Saeed

Department of Chemical Engineering, United Arab Emirates University, UAE

ABSTRACT

Nanostructured catalysts enabling efficient water splitting represent cornerstone technology addressing global clean hydrogen economy transition. This research develops earth-abundant transition metal phosphide heterostructures exposing bifunctional active sites optimizing both hydrogen and oxygen evolution half-reactions. Synthetic protocol produces core-shell architectures where electronic interactions between metal phases enhance adsorption energetics approaching volcano peak positions. Morphological control creates high surface area three-dimensional arrays maximizing catalyst utilization while nanostructuring mitigates overpotential losses. Operando spectroscopy reveals dynamic surface reconstruction generating true active phases under catalytic turnover. The catalyst platform demonstrates unprecedented durability under industrial current densities maintaining performance across alkaline seawater electrolysis conditions. Theoretical modeling elucidates synergistic effects between metal-phosphide interfaces facilitating balanced proton-coupled electron transfer. Device integration achieves overall water electrolysis efficiencies competitive with platinum-iridium benchmarks using exclusively non-precious materials. Technoeconomic analysis confirms commercial viability through dramatic reductions in capital costs relative to noble metal catalysts. Scalability roadmap leverages abundant feedstock materials and established phosphidation infrastructure. Environmental compatibility eliminates critical raw material dependencies characterizing incumbent technologies. Mechanistic insights guide rational design principles applicable across electrocatalytic transformations. Integration potential within renewable-powered hydrogen production facilities positions technology for terawatt-scale deployment. Research advances fundamental understanding of multi-site catalysis while delivering practical materials systems enabling hydrogen economy infrastructure development essential for global decarbonization pathways.

Keywords: nanostructured catalysts, water splitting, hydrogen evolution, non-precious electrocatalysts, heterostructure design

THERMALLY STABLE POLYMERIC COMPOSITES FOR HIGH-PERFORMANCE ELECTRONIC APPLICATIONS

Prof. Dr. Andrei Popescu, Dr. Maria Ionescu, Ionela Dragomir

Faculty of Chemistry, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

High-performance polymeric composites satisfying thermal management requirements across advanced electronics represent critical enabling materials for 5G infrastructure, electric vehicle power electronics, and space applications. This research develops polyetheretherketone nanocomposites reinforced with two-dimensional boron nitride nanosheets achieving exceptional thermal conductivities while preserving dielectric integrity essential for high-frequency signal propagation. Interfacial engineering through functionalized graphene oxide bridges creates efficient phonon transport pathways across polymer-filler interfaces. The composite architecture balances thermal transport enhancement with electrical insulation through controlled nanosheet orientation and dispersion. Morphological optimization prevents aggregation-induced hotspots while maximizing effective medium approximations. Dielectric spectroscopy confirms frequency-independent permittivity suitable for 5G dielectric substrates. Thermal aging studies demonstrate retention of properties under continuous 250°C operation surpassing conventional epoxy systems. Mechanical reinforcement through interlocking nanosheet networks enhances fracture toughness alongside thermal shock resistance. Processing compatibility with thermoplastic injection molding enables cost-effective scale-up. Device-level demonstrations confirm junction temperature reductions enabling 40% power density increases. Theoretical modeling elucidates multiscale thermal transport from phonon scattering through macroscopic effective properties. Lifecycle assessment documents environmental advantages over metal-cored printed circuit boards. The materials platform addresses fundamental limitations constraining polymer electronics deployment across extreme environments. Integration potential within existing electronics manufacturing infrastructure facilitates rapid commercialization. Research advances fundamental structure-property relationships in anisotropic polymer nanocomposites while delivering practical thermal management solutions enabling next-generation electronics architectures.

Keywords: polymer nanocomposites, thermal management, boron nitride, 5G electronics, dielectric composites

BIODEGRADABLE POLYMERS FROM RENEWABLE ROMANIAN AGRICULTURAL WASTES

Assoc. Prof. Dr. Stefan Radu, Elena Vasilescu, Mihai Georgescu

Faculty of Materials Science, Politehnica University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

Biodegradable polymers derived from agricultural lignocellulosic waste represent sustainable alternatives to petroleum-derived plastics addressing European single-use plastic directives while valorizing abundant crop residues. This research develops polylactic acid composites reinforced with cellulose nanocrystals extracted from Romanian corn stover and wheat straw through environmentally-benign oxidative hydrolysis protocols. Nanocrystal isolation preserves crystalline morphology essential for mechanical reinforcement while surface functionalization enables dispersion within hydrophilic polymer matrices. The resulting nanocomposites achieve balanced mechanical properties suitable for packaging applications alongside accelerated biodegradation profiles. Morphological analysis confirms uniform fibrillar reinforcement networks creating tortuous diffusion pathways retarding water vapor transmission. Thermal characterization demonstrates enhanced heat deflection temperatures enabling hot-fill applications. Soil burial and composting trials confirm quantitative mineralization within regulatory timelines through hydrolytic chain scission followed by microbial assimilation. Lifecycle assessment documents 68% reduction in fossil fuel consumption alongside avoided landfill burdens. Economic modeling confirms cost competitiveness with polystyrene through waste feedstock utilization eliminating raw material costs. Processing compatibility with existing extrusion infrastructure facilitates market penetration. The materials platform addresses fundamental sustainability challenges across plastic packaging value chains. Regulatory compliance with EU 2019/904 single-use plastics directive positions products for mandated substitution. Consumer acceptance studies confirm preference for visibly-biodegradable packaging. Scale-up demonstrations confirm kilogram-scale production through continuous processing. Research advances waste-to-value manufacturing paradigms while delivering practical alternatives to persistent plastics enabling circular economy transition across agricultural nations.

Keywords: biodegradable polymers, agricultural waste valorization, cellulose nanocrystals, PLA composites, circular economy

ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT USING AI-DRIVEN GENOMIC PROFILING

Dr. Aiko Nakamura, Kenji Sato

Department of Oncology and Genomic Medicine, University of Tokyo Hospital, Japan

ABSTRACT

This research explores artificial intelligence applications in precision oncology, specifically how machine learning algorithms analyze complex genomic profiles from breast cancer tumors to enable personalized treatment strategies. Tumor sequencing reveals heterogeneous mutations across HER2-positive, triple-negative, and hormone-receptor-positive subtypes, where traditional chemotherapy approaches often fail due to resistance mechanisms rooted in tumor microenvironment interactions and epigenetic modifications. AI models trained on large-scale datasets from The Cancer Genome Atlas integrate multi-omics data including DNA methylation patterns, RNA expression profiles, and proteomic signatures to predict therapeutic responses with unprecedented accuracy. Convolutional neural networks identify subtle morphological patterns in histopathology slides that correlate with molecular subtypes, while recurrent neural networks process longitudinal patient data to forecast disease progression and metastasis risk. The clinical implications extend to therapeutic decision-making, where AI-driven recommendations guide selection of targeted therapies such as PARP inhibitors for BRCA-mutated cases or CDK4/6 inhibitors for luminal tumors, optimizing outcomes while minimizing toxicity. Ethical considerations surrounding data privacy, algorithmic bias, and equitable access remain critical challenges, particularly in diverse populations where genomic databases predominantly represent Western cohorts. Integration with liquid biopsy technologies allows real-time monitoring of circulating tumor DNA, enabling adaptive treatment modifications as clonal evolution occurs under selective pressure. Future directions emphasize federated learning frameworks that preserve patient confidentiality across institutions, alongside explainable AI methodologies ensuring clinician trust in black-box predictions. This approach represents a paradigm shift from empirical oncology toward data-driven precision medicine, fundamentally transforming breast cancer management through individualized risk stratification and therapeutic optimization.

Keywords: precision medicine, breast cancer genomics, AI algorithms, tumor profiling, personalized oncology

NON-INVASIVE NEURAL INTERFACE TECHNOLOGIES FOR PARKINSON'S DISEASE MANAGEMENT

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kobayashi, Takeshi Yamamoto, Mika Fujimoto

Faculty of Neuroscience and Biomedical Engineering, Kyoto University, Japan

ABSTRACT

This study investigates non-invasive brain-computer interface technologies leveraging electroencephalography and functional near-infrared spectroscopy to modulate neural circuits affected by Parkinson's disease progression. Dopaminergic neuron degeneration in the substantia nigra disrupts basal ganglia circuitry, producing characteristic motor symptoms including bradykinesia, resting tremor, and gait freezing alongside non-motor manifestations such as cognitive decline and sleep disturbances. Closed-loop neurofeedback systems train patients to self-regulate pathological oscillatory patterns in the beta frequency band (13-30 Hz), which correlate with motor impairment severity. Real-time signal processing algorithms decode cortical activity from motor cortex and prefrontal regions, delivering auditory or visual feedback to enhance cortico-striatal connectivity. Transcranial focused ultrasound provides precise neuromodulation of deep brain structures traditionally targeted by invasive deep brain stimulation, offering adjustable sonication parameters to suppress excessive synchronized firing without surgical risks. Wearable EEG headsets integrated with smartphone applications facilitate home-based therapy sessions, improving medication adherence through tremor severity tracking and levodopa-induced dyskinesia detection. Clinical trials demonstrate sustained motor score improvements alongside quality-of-life gains, particularly in advanced-stage patients unsuitable for surgical intervention. Neuroplasticity mechanisms underlying these interventions involve long-term potentiation in thalamocortical pathways and normalization of aberrant functional connectivity within the default mode network. Challenges include signal contamination from movement artifacts and inter-subject variability in neuroanatomical landmarks. Future research directions emphasize hybrid interfaces combining neural decoding with peripheral biosignals such as electromyography, alongside multi-site validation studies establishing standardized protocols for clinical translation. These technologies promise transformative management of Parkinson's disease through accessible, patient-centered neuromodulation paradigms.

Keywords: neural interfaces, Parkinson's disease, neurofeedback, brain-computer interface, neuromodulation

TELEMEDICINE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN RURAL MOLDOVAN HEALTHCARE SYSTEMS

Dr. Ionela Popa, Victor Rusu

Department of Public Health and Telemedicine, State Medical and Pharmaceutical University,
Moldova

ABSTRACT

This research examines telemedicine deployment barriers within Moldova's fragmented rural healthcare infrastructure, where geographic isolation compounds physician shortages and limited diagnostic capacity. Video consultations address primary care gaps but encounter persistent connectivity limitations in northern districts, compounded by low digital health literacy among elderly populations managing chronic conditions such as hypertension and diabetes. Platform interoperability challenges hinder integration with existing electronic health records, while regulatory frameworks lag behind EU digital health standards despite Moldova's association agreement obligations. Patient trust emerges as critical factor, with qualitative interviews revealing preferences for face-to-face encounters rooted in Soviet-era paternalistic medical culture. Economic constraints limit reimbursement mechanisms for remote services, creating disincentives for provider participation. Infrastructure assessments identify mobile network coverage as primary bottleneck, though 4G expansion offers mitigation potential through compressed video protocols. Medical device connectivity enables remote monitoring of vital signs, but calibration standards remain inconsistent across suppliers. Training programs targeting rural practitioners emphasize diagnostic confidence during virtual encounters, addressing over-reliance on physical examination findings. Policy analysis reveals fragmented governance between Ministry of Health and National Health Insurance Company, delaying unified telemedicine strategy. Comparative evaluation against Romanian cross-border initiatives demonstrates feasibility of regional collaboration leveraging shared language and medical training traditions. Implementation frameworks incorporate community health worker intermediaries bridging digital divide through assisted teleconsultations. Capacity-building initiatives focus on data security protocols compliant with GDPR equivalents, addressing cybersecurity vulnerabilities inherent to resource-constrained environments. Research establishes roadmap for sustainable telemedicine ecosystems integrating local contextual realities with global best practices, positioning Moldova as regional leader in Eastern European digital health transformation serving underserved rural communities.

Keywords: telemedicine implementation, rural healthcare, digital health literacy, Moldova health systems, teleconsultation barriers

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR DIABETES PREVENTION IN MOLDOVAN URBAN POPULATIONS

Prof. Dr. Maria Ceban, Andrei Lupascu, Elena Bodarev

Faculty of Preventive Medicine and Nutrition, State University of Medicine and Pharmacy,
Moldova

ABSTRACT

This community-based intervention study evaluates culturally adapted nutritional strategies preventing type 2 diabetes progression among urban Moldovan adults exhibiting prediabetes phenotypes. Traditional dietary patterns dominated by refined carbohydrates and saturated fats from Soviet-era food systems contribute significantly to metabolic syndrome prevalence, compounded by sedentary occupational structures and limited fresh produce accessibility. Mediterranean-style modifications incorporating local walnuts, sunflower seeds, and fermented dairy products demonstrate feasibility within Eastern European culinary traditions. Behavioral economics frameworks leverage social norms through workplace canteen transformations and neighborhood cooking collectives, achieving sustained adherence superior to individual counseling approaches. Glycemic index education emphasizes seasonal root vegetables and whole grain alternatives to white bread ubiquitous in Moldovan cuisine. Intermittent fasting protocols adapted to Orthodox Christian fasting calendars enhance insulin sensitivity through circadian-aligned eating windows. Microbiome-targeted interventions promote diversity through sauerkraut, kefir, and kvass consumption countering antibiotic overuse legacies. Longitudinal cohort monitoring documents HbA1c reductions alongside favorable lipid profile shifts and visceral adiposity decreases. Health economics analysis confirms cost-effectiveness surpassing pharmacological prophylaxis when accounting for productivity losses avoided. Capacity building targets dietitians through continuous professional development emphasizing motivational interviewing techniques and culinary demonstration skills. Policy integration advocates front-of-pack nutrition labeling mandatory for imported processed foods alongside subsidies for locally grown pulses and berries. School-based programs establish generational prevention through family cooking workshops reaching children as change agents. Research establishes evidence-based framework translating global diabetes prevention paradigms into Eastern European context, preserving culinary heritage while addressing nutrition transition challenges characteristic of post-socialist urban transformation.

Keywords: diabetes prevention, nutritional interventions, Moldovan diet, prediabetes management, community nutrition

TRADITIONAL HERBAL MEDICINE EFFICACY AGAINST DENGUE FEVER IN INDONESIAN COMMUNITIES

Dr. Sari Wijaya, Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso

Faculty of Traditional Medicine, University of Indonesia, Indonesia

ABSTRACT

This ethnopharmacological investigation validates Indonesian *jamu* formulations efficacy against dengue fever, focusing on *Andrographis paniculata* (*sambiloto*), *Carica papaya* leaf extracts, and *Zingiber officinale* combinations employed across Java and Sumatra. Phytochemical screening confirms andrographolide, carpaine, and gingerol synergism inhibiting DENV-2 replication through NS5 polymerase blockade and envelope glycoprotein interference. In vitro assays demonstrate dose-dependent viral load reductions alongside platelet count stabilization critical during critical phase thrombocytopenia. Clinical observational studies across community health centers document reduced hospitalization rates and defervescence acceleration compared to supportive care alone. Vector control integration employs neem and serai essential oils repelling *Aedes aegypti* through octacosane mediated olfactory disruption. Safety profiles confirm absence of hepatotoxicity or herb-drug interactions with acetaminophen standard therapy. Traditional knowledge transmission mapping reveals *dukun* networks preserving formulation ratios through oral mnemonics resistant to biomedical standardization pressures. Economic analysis establishes affordability advantage over intravenous immunoglobulin therapies prohibitive for rural populations. Regulatory science navigates *jamu* classification under Indonesian BPOM framework facilitating evidence-based claims without losing traditional legitimacy. Comparative effectiveness research against Thai green chiretta preparations confirms Javanese polyherbal superiority through flavanol matrix metalloproteinase inhibition. Conservation biology addresses overharvesting threats through *sambiloto* agroforestry integration within cocoa agroecosystems. Intellectual property frameworks protect *jamu* formulations through geographical indication certification preserving biodiversity-derived knowledge sovereignty. Research validates community wisdom bridging ethnomedicine with molecular virology, establishing scalable dengue management paradigm accessible across Indonesian archipelago where annual epidemics affect millions lacking hospital infrastructure.

Keywords: herbal medicine, dengue fever, Indonesian jamu, *Andrographis* efficacy, ethnopharmacology

MATERNAL HEALTH IMPROVEMENT THROUGH COMMUNITY MIDWIFERY PROGRAMS IN RURAL INDONESIA

Nyoman Pratiwi, Dr. Agus Setiawan, Lina Kusuma

Department of Midwifery and Public Health, Airlangga University, Indonesia

ABSTRACT

This participatory action research evaluates community midwifery strengthening initiatives reducing maternal mortality across eastern Indonesian provinces where geographic isolation compounds human resource shortages. Village-based *bidan di desa* programs integrate traditional birth attendant knowledge with evidence-based obstetrics through bidirectional skills exchange preserving cultural birth practices while introducing partograph monitoring and active management of third stage labor. Mobile health teams address transportation barriers through motorcycle ambulances equipped for emergency stabilization bridging remote hamlets to primary health centers. Nutrition-sensitive antenatal care incorporates local sago palm and moringa supplementation countering anemia endemic in food-insecure coastal communities. Respectful maternity care training transforms facility culture addressing vertical birth position prohibitions and postpartum ritual accommodations. Male engagement strategies leverage kinship structures positioning husbands as birth preparedness champions through motorcycle driving training and savings group facilitation. Data connectivity solutions transmit labor progress via SMS partographs enabling district hospital oversight despite absent roads. Economic empowerment through midwifery sewing cooperatives generates revenue funding equipment replenishment. Indigenous language materials ensure comprehension across 700 local dialects preserving oral traditions while delivering WHO safe childbirth checklist content. Quality improvement cycles employ Plan-Do-Study-Act methodology adapting protocols to tsunami-prone and malaria-endemic ecologies. Research demonstrates maternal near-miss audit culture transformation through community death review rituals replacing blame with systems learning. Policy advocacy secures Ministry of Health budget line for village midwifery alongside universal health coverage reimbursement expansion. Framework offers replicable model for island nations integrating cultural competence with technical proficiency, substantially reducing preventable maternal deaths through community ownership of childbirth continuum.

Keywords: community midwifery, maternal health, rural Indonesia, respectful maternity care, birth preparedness

ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ROMANIAN HOSPITAL-ACQUIRED INFECTIONS

Dr. Andrei Popescu, Dr. Maria Ionescu

Department of Infectious Diseases and Microbiology, Carol Davila University of Medicine,
Romania

ABSTRACT

This epidemiological surveillance study characterizes antimicrobial resistance trends among Romanian nosocomial pathogens within EUCAST-EARS-Net framework, emphasizing carbapenemase-producing Enterobacteriaceae and multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* predominance. Intensive care units exhibit highest incidence of OXA-48 K. pneumoniae alongside NDM-1 *E. coli* reflecting Eastern European clonal lineage dissemination through medical tourism and population movements. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* spa types document community-onset hospital transmission cycles resistant to Romanian antibiotic stewardship efforts. Vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* emergence correlates with surgical prophylaxis overuse patterns. *Pseudomonas aeruginosa* high-risk clones demonstrate colistin heteroresistance complicating last-resort therapeutic options. Molecular epidemiology employs whole genome sequencing resolving transmission networks linking regional hospitals through patient transfers. Stewardship interventions emphasize rapid diagnostics integration through MALDI-TOF guided de-escalation alongside procalcitonin-guided cessation protocols reducing broad-spectrum cephalosporin exposure. Infection prevention bundles adapt WHO core components to Romanian resource constraints prioritizing high-touch surface biocides and chlorhexidine bathing. Economic analysis quantifies attributable length-of-stay increases alongside excess mortality costs informing national budget allocations. Training programs target prescribers through audit-feedback cycles achieving sustained compliance improvements. Regional networks facilitate inter-hospital learning exchanging resistance patterns and intervention outcomes. Policy development advocates legislative antibiotic import restrictions alongside veterinary-human medicine surveillance harmonization addressing agricultural selective pressure. Research outputs feed national reference laboratory operations supporting therapeutic drug monitoring services for polymyxin B and ceftazidime-avibactam optimization. Framework establishes comprehensive stewardship infrastructure positioning Romania within European Centre for Disease Prevention antibiotic resistance combat strategies protecting healthcare system sustainability.

Keywords: antibiotic resistance, hospital-acquired infections, Romania epidemiology, stewardship programs, molecular surveillance

IMPROVED GRAPE VARIETAL SELECTION FOR CLIMATE-RESILIENT VITICULTURE IN AZERBAIJAN'S SEMI-ARID REGIONS

**Prof. Dr. Elnur Hasanov, Assoc. Dr. Aysel Mammadova, Nigar Aliyev, Kamran
Ibrahimov**

Faculty of Agribusiness and Horticulture, Azerbaijan State Agricultural University,
Azerbaijan

ABSTRACT

This research evaluates grape varietal performance under intensifying climate pressures characteristic of Azerbaijan's semi-arid viticulture zones, focusing on heat tolerance, water use efficiency, and quality preservation through systematic field trials and physiological assessments. Traditional varieties like Bayanshira and Madrasa face challenges from prolonged summer drought and temperature extremes, prompting evaluation of climate-adaptive selections including heat-tolerant hybrids and local landraces with demonstrated resilience. Physiological monitoring emphasizes stomatal regulation, canopy microclimate management, and photosynthetic efficiency under deficit irrigation regimes typical of the region. Vineyard establishment protocols integrate raised bed planting, cover cropping with drought-resistant legumes, and trellis systems optimizing sunlight interception while minimizing evaporative losses. Rootstock selection prioritizes riparia hybrids enhancing scion vigor without compromising fruit quality attributes essential for Azerbaijan's renowned wine and table grape industries. Post-harvest quality evaluation confirms superior berry skin pigmentation, titratable acidity retention, and aroma precursor accumulation in adaptive selections compared to conventional plantings. Economic analysis demonstrates sustainable return profiles through reduced input requirements and maintained market premiums for terroir-specific products. The study establishes varietal selection criteria integrating genotypic resilience with agronomic adaptability, providing Azerbaijan's viticulture sector with strategic pathways for sustaining production quality amid climate variability while preserving cultural heritage embedded in centuries-old winemaking traditions central to national identity.

Keywords: climate-resilient viticulture, grape varietal selection, Azerbaijan, drought tolerance, water use efficiency

AQUAPONIC INTEGRATION FOR SUSTAINABLE RICE-FISH FARMING IN TROPICAL SINGAPORE CONDITIONS

Prof. Dr. Chen Li Wei, Assoc. Prof. Dr. Nurul Aini, Marcus Tan

Department of Biological Systems Engineering, Nanyang Technological University,
Singapore

ABSTRACT

This investigation develops integrated aquaponic systems combining rice cultivation with fish production optimized for Singapore's high-density tropical urban agriculture constraints, emphasizing nutrient recycling efficiency, water conservation, and dual-crop productivity. System design integrates deep-water rice varieties with tilapia or jade perch in coupled recirculating aquaculture-vitroponics configurations maximizing symbiotic nutrient exchange between fish effluent and rice nutrient demands. Biofilter optimization employs moving bed biofilm reactors enhancing nitrification capacity while maintaining dissolved oxygen levels critical for both aquatic and terrestrial components. Rice varietal screening prioritizes semi-dwarf erectophile genotypes exhibiting superior tillering under fluctuating hydroponic nutrient regimes characteristic of aquaponic environments. Fish health management incorporates probiotic supplementation and plant-based immunostimulants reducing disease pressure in high-density co-culture. System monitoring emphasizes real-time sensors tracking pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, and ammonia-nitrogen transformations ensuring biological process stability. Economic modeling confirms superior land-use efficiency compared to separated aquaculture and hydroponics alongside reduced chemical fertilizer dependency. Environmental impact assessment documents substantial freshwater savings and greenhouse gas reductions positioning aquaponics as model for land-scarce tropical city-states. The research establishes technical protocols enabling commercial-scale deployment while training urban farming cooperatives in system management, creating pathways for food sovereignty in densely populated Southeast Asian contexts through biologically integrated production models.

Keywords: aquaponics, rice-fish integration, tropical agriculture, nutrient recycling, urban farming

VERTICAL FARMING SYSTEMS OPTIMIZATION FOR URBAN VEGETABLE PRODUCTION IN SINGAPORE

Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming, Dr. Tan Hui Ling, Rajesh Kumar

School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University,
Singapore

ABSTRACT

This systems engineering study optimizes vertical farming configurations for year-round leafy greens production addressing Singapore's land constraints and year-round tropical growing conditions. Multi-layer rack systems integrate hydroponic nutrient film technique with solid media slabs maximizing photosynthetic photon flux utilization through dynamic LED spectrum adjustment synchronized with crop growth stages. Environmental control precision maintains vapor pressure deficit, CO₂ enrichment, and airflow patterns preventing foliar diseases while accelerating harvest cycles. Crop selection emphasizes high-value baby greens, specialty herbs, and microgreens achieving rapid turnover suited to just-in-time urban supply chains. Energy modeling identifies heat pump dehumidification coupled with photovoltaic integration minimizing operational costs in high-humidity tropical climates. Automation protocols employ computer vision quality assessment, robotic harvesting, and predictive analytics optimizing nutrient dosing through machine learning algorithms trained on real-time sensor networks. Economic viability confirmed through levelized cost analysis competitive with imported produce alongside premium pricing for local pesticide-free certification. Social impact assessment documents community engagement through urban farm education programs increasing food literacy among city residents. Scalability roadmap establishes modular farm units deployable within existing commercial buildings transforming food deserts into production centers. The research positions vertical agriculture as infrastructure solution enhancing national food security while creating green collar employment opportunities within Singapore's knowledge economy framework.

Keywords: vertical farming, urban agriculture, tropical optimization, hydroponics, food security

SALINE TOLERANT FORAGE CROPS DEVELOPMENT FOR LIVESTOCK FEED IN QATARI FARMS

Assis. Prof. Dr. Ahmed Bin Saeed, Sara Al-Mansoori

Department of Plant Production, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This plant breeding program develops salt-tolerant forage varieties addressing Qatar's chronic water scarcity and marginal soil salinity constraining livestock feed production essential for national food security. Conventional breeding combines wild halophytic germplasm with elite buffelgrass and Rhodes grass incorporating sodium exclusion mechanisms, osmotic adjustment pathways, and antioxidant defense systems characteristic of coastal dune ecotypes. Field trials across experimental stations evaluate biomass accumulation, nutritional quality parameters, and persistence under cyclic seawater irrigation simulating produced water utilization from oil-gas operations. Rhizosphere microbiome enhancement through salt-tolerant plant growth-promoting bacteria increases phosphorus solubilization and nitrogen fixation under saline stress. Molecular markers track inheritance of key tolerance traits including HKT1;5 sodium transporters and SOS1 extrusion pumps enabling early generation selection. Nutritional profiling confirms adequate crude protein, neutral detergent fiber, and mineral balances supporting ruminant productivity comparable to freshwater-irrigated forages. Economic analysis demonstrates substantial feed cost reductions replacing imported alfalfa while utilizing non-arable lands comprising seventy percent national territory. Policy integration advocates varietal release through Qatar Farming Association alongside extension services training Bedouin pastoralists in saline forage management. The research establishes sustainable livestock nutrition pathways reducing Qatar's complete dependence on imported feeds while valorizing marginal agricultural resources through modern plant breeding integrated with indigenous knowledge systems.

Keywords: saline forage crops, plant breeding, Qatar agriculture, livestock nutrition, halophyte utilization

WATER-EFFICIENT DATE PALM CULTIVATION TECHNIQUES IN QATAR'S ARID AGRICULTURAL ZONES

Dr. Fatima Al-Thani, Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser, Mariam Rahman

Department of Plant and Environmental Sciences, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This agronomic study develops precision irrigation protocols maximizing date palm productivity under extreme arid conditions while minimizing water applications critical for Gulf sustainability. Phenotyping identifies Barhi and Khalas cultivars exhibiting superior water use efficiency through partial root zone drying and regulated deficit irrigation timed with bunch development stages. Sap flow sensors and canopy thermal imaging guide irrigation scheduling maintaining midday stem water potential within stress-avoidance thresholds. Fertigation optimization synchronizes potassium demands during hababouk stage preventing bunch droop while conserving nitrogen applications through slow-release formulations. Microclimate modification employs shade netting reducing transpiration without compromising light interception essential for carbohydrate accumulation. Soil moisture capacitance probes enable real-time decision support systems accessible through mobile applications for smallholder farmers. Postharvest quality evaluation confirms enhanced total soluble solids, reduced titratable acidity, and improved texture in water-stressed trees reflecting flavor intensification characteristic of terroir date production. Economic modeling projects substantial water cost savings alongside maintained or enhanced market premiums for premium quality classifications. Extension methodologies train women cooperatives in precision agriculture increasing household incomes through value-added date products. The research establishes science-based cultivation practices ensuring date palm sustainability as cultural-economic cornerstone while positioning Qatar within global precision horticulture demonstrating arid land stewardship through technological innovation harmonized with traditional knowledge.

Keywords: date palm cultivation, water-efficient irrigation, arid agriculture, precision horticulture, Qatar

ORGANIC HERB PRODUCTION MODELS FOR MEDITERRANEAN GREENHOUSE SYSTEMS IN CRETE

Dr. Sophia Kiriakou, Andreas Manolis

Department of Agriculture, Hellenic Mediterranean University, Crete, Greece

ABSTRACT

This sustainable agriculture study develops organic herb production protocols optimized for Crete's Mediterranean greenhouse systems emphasizing oregano, thyme, and rosemary adapted to insular soil-climate variability. Substrate engineering combines coconut coir with local olive pruning residues enhancing water retention while preventing root diseases through optimized cation exchange capacity. Biological pest management integrates predatory mites, parasitoid wasps, and entomopathogenic nematodes establishing integrated pest management frameworks excluding synthetic pesticides. Irrigation precision employs tensiometers maintaining matric potentials supporting mycorrhizal colonization essential for phosphorus uptake under low-fertility conditions. Nutrient recycling captures condensate water enriching fertigation solutions with rainwater chemistry characteristic of Mediterranean winter storms. Postharvest protocols preserve volatile oil content through rapid solar dehydration maintaining carvacrol and thymol concentrations rivaling wild harvested material. Market analysis confirms premium pricing for certified organic Cretan herbs within European specialty food sectors valuing PDO geographical indications. Carbon footprint assessment documents substantial emissions reductions versus open field production through protected cultivation efficiencies. Social enterprise models empower women cooperatives managing twenty-hectare herb clusters generating sustainable rural incomes while preserving agrobiodiversity through varietal conservation. Certification pathways navigate EU organic regulations alongside GlobalGAP protocols ensuring market access. The research establishes comprehensive production models positioning Crete as leading supplier of authentic Mediterranean culinary herbs through environmentally sound intensification harmonizing ecological stewardship with economic viability.

Keywords: organic herb production, Mediterranean greenhouse, Crete agriculture, biological pest control, PDO herbs

OLIVE OIL QUALITY ENHANCEMENT THROUGH PRECISION IRRIGATION IN KALAMATA GREEK PLANTATIONS

Assoc. Prof. Dr. Dimitri Pappas, Elena Stavrou, Nikos Theodorou

Laboratory of Olive Cultivation, Agricultural University of Athens, Greece

ABSTRACT

This precision agriculture investigation optimizes irrigation regimes enhancing extra virgin olive oil sensory characteristics and nutritional profiles within Greece's premier Kalamata PDO plantations. Koroneiki cultivar phenology guides deficit irrigation strategies concentrating polyphenols during veraison while sustaining carbon assimilation through critical late-summer stages. Canopy hyperspectral reflectance indices predict water status enabling early intervention preventing permanent stomatal closure. Soil moisture sensors distributed through rootzones facilitate partial rootzone drying alternating wetting patterns stimulating ABA-mediated stress signaling enhancing oil quality precursors. Fruit analysis confirms elevated oleuropein, hydroxytyrosol, and oleocanthal concentrations alongside optimized oleic acid profiles characteristic of premium classifications. Sensory evaluation panels document superior fruity-fruity-aromatic profiles achieving consistently high scores within integrated olive oil panel methodologies. Economic modeling validates sustained yield quality tradeoffs maintaining production volumes while capturing substantial market premiums for superior classifications. Climate resilience protocols incorporate cover cropping suppressing soil evaporation alongside windbreaks mitigating desiccation stresses increasingly prevalent within Mediterranean basin. Extension methodologies disseminate findings through farmer field schools reaching thousands of smallholders across Peloponnese prefectures. Sustainability certification pathways integrate findings within GLOBALG.A.P. and EU Organic frameworks enhancing market positioning. The research establishes scientific foundation elevating Greece's globally recognized olive oil heritage through precision water management harmonizing tradition excellence with contemporary climate-smart agricultural practices ensuring PDO designation integrity for future generations.

Keywords: olive oil quality, precision irrigation, Kalamata olives, PDO enhancement, phenolic compounds

BIOLOGICAL PEST CONTROL STRATEGIES FOR POMEGRANATE ORCHARDS IN AZERBAIJAN'S GANJA VALLEY

Dr. Farid Gurbanov, Leyla Karimova, Rashad Nuriyev

Department of Plant Protection, Azerbaijan State Agricultural University, Azerbaijan

ABSTRACT

This integrated pest management study develops biological control protocols protecting pomegranates from key orchard pests while maintaining residue-free production standards essential for export markets. Beneficial insect conservation prioritizes *Trichogramma* parasitoids targeting pomegranate fruit moths alongside predatory beetles suppressing scale insects through habitat manipulation within inter-row cover crops. Microbial biopesticides including *Beauveria bassiana* and *Bacillus thuringiensis* establish entomopathogen reservoirs through timed applications synchronized with pest phenology. Plant-derived repellents utilizing neem and essential oil mixtures disrupt mating communication minimizing broad-spectrum insecticide reliance. Monitoring protocols employ pheromone traps and digital imaging providing real-time infestation mapping guiding selective treatments. Orchard floor management integrates flowering understory attracting pollinators while suppressing weed hosts harboring pathogens. Economic analysis confirms cost parity versus chemical controls alongside sustained yield quality supporting premium pricing within European-Russia markets. Pesticide residue monitoring validates clean harvest compliance exceeding maximum residue limits by substantial margins. Farmer training programs disseminate protocols through demonstration orchards reaching thousands across Ganja region revitalizing traditional fruit culture through modern ecological stewardship. Policy advocacy establishes national IPM certification schemes alongside subsidy restructuring favoring biological inputs. The research positions Azerbaijan pomegranates within global clean fruit markets through environmentally sustainable production models preserving agrocultural heritage while meeting contemporary food safety standards through integrated biological management systems harmonizing ecological processes with commercial viability.

Keywords: biological pest control, pomegranate IPM, Azerbaijan agriculture, Ganja Valley, residue-free production

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN AZERBAIJAN POULTRY FARMS

Prof. Dr. Elnur Hasanov, Dr. Aysel Mammadova, Nigar Aliyeva

Faculty of Veterinary Medicine, Azerbaijan State Agricultural University

ABSTRACT

This comprehensive epidemiological study establishes systematic surveillance protocols for highly pathogenic avian influenza (HPAI) across Azerbaijan's intensive poultry production systems, addressing critical gaps in early detection and outbreak containment within the Caucasus flyway. Methodological framework integrates active farm surveillance through cloacal-oro-pharyngeal swabbing of broiler breeder flocks alongside environmental sampling from ventilation systems and water troughs, complemented by serological monitoring via HI and ELISA assays. Virological confirmation employs real-time RT-PCR targeting HA cleavage sites characteristic of H5N1 Eurasian lineage circulating through wild Anseriformes. Biosecurity risk assessment identifies multidirectional spread through live bird markets serving Baku's restaurant trade alongside unregulated slaughter practices during religious festivals. Spatial epidemiology reveals Kur-Araz lowland intensification correlating with heightened outbreak risk due to wetland poultry-wildlife interfaces. One Health integration incorporates human passive surveillance data from Ministry of Health alongside wildlife monitoring through BirdLife Azerbaijan partnerships. Serological profiling documents subclinical infections in layer flocks exhibiting minimal clinical signs yet serving as silent amplifiers. Vaccination strategy evaluation confirms inactivated H5N2 vaccines providing homologous protection while heterologous H5N8 challenge reveals antigenic drift necessitating annual strain updates. Containment modeling establishes optimal culling radii balancing R0 suppression with economic viability. Capacity building establishes national reference laboratory accreditation alongside provincial diagnostic networks linking 28 district veterinary stations. Policy framework advocates Poultry Health Act mandating AI surveillance within national food safety standards while positioning Azerbaijan as regional reference center for Transcaucasus avian disease intelligence serving \$450M poultry export economy supporting food security for 10 million consumers.

Keywords: avian influenza surveillance, Azerbaijan poultry, H5N1 epidemiology, biosecurity protocols, One Health

PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SHEEP HERDS OF GARABAGH REGION

Assoc. Prof. Dr. Kamal Gurbanov, Dr. Leyla Ibrahimova, Dr. Farid Rahimov

Department of Parasitology, Azerbaijan State Veterinary Academy

ABSTRACT

This field parasitology investigation characterizes gastrointestinal nematode burdens and emerging anthelmintic resistance patterns across Garabagh's transhumant sheep production systems where *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus* spp., and *Nematodirus* dominate summer pasture infections. Faecal egg count reduction tests confirm ivermectin efficacy decline alongside albendazole resistance exceeding 40% threshold requiring treatment regimen redesign. Pasture larval translation studies document bimodal contamination peaks corresponding to lambing and weaning cycles amplified through communal grazing practices. Zoonotic risk assessment identifies liver fluke transmission through irrigation canal networks serving downstream vegetable production. Breed susceptibility profiling reveals Karakul resilience versus Merino vulnerability linked to genetic resistance markers. Integrated parasite management establishes targeted selective treatment protocols using FAMACHA© conjunctival scoring alongside body condition monitoring achieving 68% reduction in anthelmintic usage while maintaining productivity. Botanical dewormers including *Allium* spp. and *Artemisia* extracts demonstrate adjunctive efficacy through direct anthelmintic action and immune modulation. Epidemiological modeling optimizes refugia preservation through division into youngstock-treatment and adult-moved pastures minimizing resistance selection pressure. Nutritional enhancement through medicated urea molasses blocks delivers strategic supplementation during periparturient relaxation. Capacity building establishes regional diagnostic laboratories performing larval culture identification alongside egg hatch assays for isotype 1 benzimidazole resistance detection. Economic analysis confirms sustainable IPM superiority over blanket treatments through extended drug efficacy and pasture carrying capacity preservation. Policy integration advocates national Anthelmintic Resistance Action Plan alongside veterinary extension networks serving 1.2 million small ruminants comprising essential protein source for liberated territories agricultural revival.

Keywords: sheep parasitology, anthelmintic resistance, Garabagh sheep, *Haemonchus contortus*, IPM strategies

MEDICINAL PLANT EXTRACTS FOR TREATING MASTITIS IN DAIRY SHEEP OF CRETE

Dr. Dimitri Papadakis, Eleni Stavrou, Prof. Dr. Nikos Karamanos

Faculty of Medicine, University of Crete

ABSTRACT

This translational veterinary pharmacology study validates Mediterranean medicinal plant extracts as alternatives to antibiotic mastitis therapy in Crete's extensive dairy sheep systems where *Staphylococcus aureus* and coagulase-negative staphylococci predominate causing 28% lactation losses. Phytochemical standardization establishes thymol-carvacrol rich oregano extracts alongside rosmarinic acid dominant sage preparations exhibiting bactericidal activity through membrane permeabilization and biofilm disruption confirmed through scanning electron microscopy. Clinical field trials across 450 lactating ewes demonstrate comparable somatic cell count reduction with oregano teat dips versus conventional iodine alongside accelerated quarter recovery through intra-mammary *Origanum vulgare* oil. Immunomodulatory effects include enhanced neutrophil phagocytosis and reduced pro-inflammatory cytokine profiles preserving milk quality for PDO Graviera production. Residue depletion studies confirm zero withdrawal periods versus 72-hour antibiotic restrictions enabling uninterrupted cheese manufacture. Economic modeling establishes 3.8-fold return through treatment cost savings and sustained lactation length. Phytotherapeutic protocols integrate preventive udder health through essential oil impregnated fly control alongside nutritional supplementation optimizing colostrum quality. Extension programs train 2,100 shepherds through farmer field schools establishing community phytomedicine pharmacies. Regulatory dossier supports EU novel feed additive authorization leveraging GRAS status alongside three-year field efficacy documentation. Comparative microbiology confirms superior Greek oregano chemotypes versus commercial Turkish imports through GC-MS sesquiterpene profiling. Sustainability assessment documents wild harvest carrying capacity preservation through cultivated oregano expansion serving dual medicinal-lamb feed purpose. Research establishes Crete phytotherapy model achieving antimicrobial stewardship goals while preserving €180M annual PDO dairy designation supporting 8,500 farming families comprising cultural patrimony essential to Mediterranean gastronomical heritage.

Keywords: ovine mastitis, medicinal plants, oregano extracts, Crete dairy sheep, phytotherapy

THERMAL IMAGING TECHNIQUES FOR EARLY LAME DETECTION IN GREEK DAIRY CATTLE

Maria Kostopoulou, Assoc. Prof. Dr. Theo Lazos

Department of Animal Science, Agricultural University of Athens

ABSTRACT

This precision livestock farming study validates infrared thermography protocols for early lameness detection in Greek Holstein dairy herds housed within Epirus-Macedonia freestall facilities where digital dermatitis and white line disease compromise 22% annual mobility. Thermal symmetry algorithms establish 0.8°C coronary band temperature elevation threshold predicting mobility scoring deterioration with 87% sensitivity through hoof-coronet interface monitoring. Machine learning classification integrates thermal profiles with accelerometer gait analytics achieving 94% lameness event prediction enabling proactive foot bathing interventions. Environmental validation confirms algorithm robustness across seasonal temperature fluctuations through black globe correction alongside breed specific baselines accounting for Mediterranean black coat absorption characteristics. Economic modeling quantifies €280/cow lifetime benefit through 18-day earlier intervention preserving 450kg milk yield alongside €120 claw trimming deferral. Farmer adoption studies document 76% compliance through tablet-based image acquisition training 1,400 herd managers. Data integration platforms link thermal alerts with milk recording systems triggering automated footbath chemical deployment. Welfare outcomes include 41% reduction in severe stage 3 lesions alongside enhanced lying behavior restoration. Extension methodology establishes national reference protocol adopted through Hellenic Dairy Association serving 450,000 lactating cows. Regulatory compliance supports EU Animal Welfare Directive reporting through automated lameness benchmarking dashboards. Research scalability confirmed through Cyprus-Thessaly pilot expansion alongside Balkan network development positioning Greece as regional precision dairy technology hub preserving €2.8B national milk production serving 11 million consumers essential protein requirements while advancing sustainable intensification paradigms.

Keywords: thermal imaging, lameness detection, dairy cattle welfare, precision livestock, Greek Holsteins

NANOTECHNOLOGY-BASED VACCINE DELIVERY SYSTEMS FOR CAMELID RESPIRATORY DISEASES

Dr. Fatima Al-Mansoori, Khalid Rahman, Assoc. Prof. Dr. Ahmed Khalil

Faculty of Veterinary Medicine, United Arab Emirates University

ABSTRACT

This nanoveterinary immunology investigation develops chitosan-tripolyphosphate nanoparticles encapsulating Peste des Petits Ruminants (PPR) virus glycoproteins for single-dose mucosal vaccination of Arabian dromedaries serving UAE's \$2.1B camel racing industry. Nanoparticle optimization achieves 87% entrapment efficiency alongside 180-day antigen stability under desert storage conditions eliminating cold chain dependency across remote Bedouin communities. Muco-adhesive properties enhance nasopharyngeal retention prolonging IgA induction critical for respiratory challenge protection. Cellular immunity profiling confirms Th1 bias through IFN- γ ELISPOT alongside CD8⁺ cytotoxic responses exceeding 4-fold inactivated vaccine benchmarks. Challenge studies demonstrate 92% clinical protection against aerosolized rinderpest serotype alongside sterilizing immunity preventing nasal shedding. Economic modeling establishes 4.6:1 return through lifetime racing productivity preservation alongside ritual slaughter security. Regulatory pathway leverages Gulf Cooperation Council veterinary harmonization enabling regional deployment protecting 8.2 million Gulf camelids. Scale-up establishes cGMP nanofabrication through Abu Dhabi pilot plant producing 25 million doses annually. Farmer acceptance studies confirm 94% adoption preference over hypodermic alternatives through nasal applicator simplicity. Sustainability assessment documents 73% carbon reduction versus traditional manufacturing. Intellectual property portfolio includes nanoparticle composition alongside mucosal adjuvant claims supporting UAE Vision 2030 knowledge economy diversification. Extension networks train 2,800 camel health workers establishing community nano-vaccine refrigerators. Research positions nanotechnology as transformative platform achieving herd immunity across arid pastoralist systems while establishing Gulf leadership within global nanoveterinary innovation serving \$16B camelid cultural economies.

Keywords: camelid vaccines, nanotechnology delivery, PPR protection, mucosal immunity, desert veterinary

PROBIOTIC SUPPLEMENTATION EFFECTS ON BROILER CHICKEN GUT MICROBIOME IN ARID CLIMATES

Prof. Dr. Noor Al-Harethi, Sara Hassan

Department of Animal Production, King Saud University

ABSTRACT

This microbiome engineering study optimizes multi-strain probiotic consortia for broiler chickens confronting Arabian Peninsula heat stress compromising 18% survival through enteric dysbiosis. 16S rRNA metagenomics documents *Lactobacillus salivarius* dominance reestablishing Firmicutes:Bacteroidetes equilibrium disrupted by cyclic thermal duress alongside *Clostridium perfringens* exclusion through competitive binding. Metabolomic profiling confirms butyrate enhancement driving distal intestinal repair alongside lactate utilization preventing D-lactic acidosis during peak temperature exposure. Performance outcomes include 12% feed conversion superiority alongside 9% bodyweight advantage persisting through slaughter despite 42°C housing challenges. Immune architecture reveals IL-10 upregulation maintaining Th1/Th2 homeostasis alongside reduced acute phase proteins indicating diminished heat-stress inflammation. Economic modeling confirms 3.9:1 return through mortality elimination alongside uniform carcass quality preservation serving halal export standards. Regulatory dossiers support Saudi FDA novel feed approval through three-year safety documentation alongside zero withdrawal confirmation. Scale-up establishes commercial fermentation through Riyadh Biotech Park producing 450 tons annually serving Gulf Cooperation Council markets. Farmer training programs educate 3,200 integrators establishing probiotic integration protocols within precision nutrition platforms. Sustainability assessment documents 68% antibiotic reduction alongside enhanced nutrient recycling through litter management. Research establishes microbiome therapeutics as foundational technology achieving climate resilience within \$24B Saudi poultry sector comprising essential protein security serving 35 million residents alongside 18 million Hajj/Umrah pilgrims annually.

Keywords: broiler probiotics, arid climate microbiome, heat stress resilience, butyrate metabolism, poultry nutrition

ONE-HEALTH APPROACHES TO ZONOTIC LEPTOSPIROSIS CONTROL IN URBAN SINGAPORE

Dr. Wei Ling Tan, Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar, Mei Ling Wong
Saw Swee Hock School of Public Health, National University of Singapore

ABSTRACT

This transdisciplinary One Health investigation integrates rodent population dynamics, wastewater epidemiology, and clinical surveillance establishing leptospirosis transmission circuits across Singapore's high-density urban interfaces where *Rattus norvegicus* flourishes within wet markets alongside transient migrant worker dormitories. Serovar prevalence profiling confirms *Icterohaemorrhagiae* dominance circulating through subsidized hawker center waste streams alongside stormwater drains serving 5.8 million residents. Metagenomic wastewater analysis detects pathogen load spikes correlating with monsoon flooding alongside rodenticide application cycles indicating resistance emergence. Clinical cohort studies document seroconversion among 87% wet market workers versus 14% office populations confirming occupational amplification. Intervention trials validate integrated pest management combining zero-rodenticide Integrated Nutrient Management alongside ultrasonic deterrents achieving 76% *Rattus* population reduction without secondary wildlife poisoning. Community-based surveillance empowers 2,400 block committees through smartphone microscopy enabling real-time leptospira darkfield detection linked to national notifiable disease platforms. Economic modeling establishes S\$28M annual savings through outbreak prevention alongside enhanced hawker productivity. Policy integration establishes National Leptospirosis Control Act mandating tripartite human-animal-environmental monitoring across 72 planning areas. Capacity building trains 1,800 public health officers establishing island-wide One Health taskforce. Sustainability assessment confirms circular economy benefits through food waste biodigestion eliminating 68% rodent attractants. Research positions Singapore as global model achieving zoonotic elimination within land-scarce megacity through systems epidemiology serving ASEAN regional reference center protecting \$124B tourism economy alongside 1.2 million daily cross-border commuters.

Keywords: leptospirosis One Health, urban zoonoses, Singapore rodent control, wastewater epidemiology, migrant health

GENOMIC SEQUENCING OF ANTIBIOTIC-RESISTANT BACTERIA FROM SINGAPORE AQUACULTURE

Dr. Lim Hui Min, Dr. Amir Singh

Department of Food Science and Technology, National University of Singapore

ABSTRACT

This genomic epidemiology study characterizes extended-spectrum β -lactamase and carbapenemase harboring Enterobacteriaceae circulating through Singapore's intensive Asian seabass and shrimp aquaculture serving 92% national seafood consumption. Long-read hybrid assembly reconstructs 187 high-quality genomes revealing mcr-1 colistin resistance dissemination through IncHI2 plasmids alongside blaNDM-5 carbapenemase acquisition through IS26-mediated transposition events. Comparative pangenomics confirms aquaculture-specific clones distinct from clinical lineages through 41 unique prophage regions alongside heavy metal tolerance operons matching pond sediment geochemistry. Metagenomic wastewater surveillance establishes One Health transmission continuum linking grow-out ponds through live fish transport tanks serving 87 wet markets. Mobilome analysis documents 23 conjugative plasmids averaging 156kb facilitating horizontal resistance transfer across 14 bacterial genera. Intervention modeling validates phage therapy cocktails achieving 4-log reduction against dominant ESBL producers alongside probiotic exclusion competitive strategies. Economic analysis confirms S\$42M annual savings through resistance mitigation preserving \$2.8B aquaculture GDP contribution. Regulatory integration establishes National Antimicrobial Resistance Surveillance Network incorporating aquaculture genomic data within Singapore Antimicrobial Resistance National Action Plan. Capacity building trains 900 fish farmers establishing on-farm WGS through portable MinION sequencing. Sustainability assessment documents 73% reduction in last-resort antibiotic imports through precision therapeutics. Research establishes aquaculture genomics platform protecting public health while positioning Singapore as ASEAN reference laboratory serving \$16B regional seafood trade alongside 650 million consumers essential protein requirements.

Keywords: aquaculture resistome, genomic epidemiology, ESBL Enterobacteriaceae, plasmid mobilome, Singapore seafood

ADVANCED WOUND HEALING THERAPIES FOR EXOTIC PETS IN TROPICAL ENVIRONMENTS

Assoc. Prof. Dr. Chloe Ng, Benjamin Low

Department of Veterinary Clinical Studies, National Parks Board

ABSTRACT

This clinical dermatology study validates bioactive wound dressings for exotic pet species confronting chronic humidity-induced infections across Singapore's reptile, avian, and small mammal populations comprising 180,000 registered animals. Honey-impregnated alginate dressings combined with negative pressure wound therapy achieve 87% wound closure acceleration through enhanced autolytic debridement alongside antimicrobial barrier function against *Stenotrophomonas* and *Achromobacter* prevalent in tropical aquatic exhibits. Species-specific protocols account for scale keratinocyte migration kinetics alongside feather follicle regeneration timelines optimizing dressing retention periods. Pharmacokinetic studies confirm systemic absorption minimization preserving hepatic metabolism capacity across chelonian, squamate, and psittacine physiologies. Economic modeling establishes 4.1:1 return through reduced euthanasia rates alongside accelerated return-to-exhibit timelines serving S\$2.4B pet industry. Regulatory dossiers support AVA conditional approval through three-year safety documentation across 47 species. Extension services train 1,600 avian-reptile veterinarians establishing national Exotic Wound Management Protocol. Client education programs achieve 92% compliance through pictorial dressing change guides accounting for multicultural clientele. Sustainability assessment confirms 68% plastic reduction through biodegradable matrices sourced from regional apiaries. Research positions advanced therapeutics as standard of care achieving welfare standards across tropical exotics while establishing Singapore leadership within \$42B global exotic pet healthcare market serving urban biodiversity conservation alongside cultural heritage preservation.

Keywords: exotic pet dermatology, tropical wound healing, bioactive dressings, reptile avian wounds, negative pressure therapy

NANOSCALE SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODE ENHANCEMENT

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kato, Takeshi Yamamoto

Department of Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan

ABSTRACT

This research explores advanced nanoscale surface modification strategies to substantially improve supercapacitor electrode performance, focusing on transition metal oxide nanostructures and carbon-based hybrids. Plasma etching combined with atomic layer deposition creates hierarchical porosity architectures that dramatically expand accessible surface area while maintaining electrical connectivity through three-dimensional conductive networks. Chemical functionalization introduces oxygen-containing groups that enhance pseudocapacitive charge storage mechanisms alongside improved electrolyte wettability. The study systematically investigates defect engineering through ion implantation, creating oxygen vacancies that serve as active catalytic sites for faradaic redox reactions while preventing irreversible phase transformations during extended cycling. Laser interference lithography patterns periodic nanostructures optimizing ion diffusion pathways and electric field distribution at the electrode-electrolyte interface. These modifications collectively address fundamental limitations of conventional supercapacitors including limited energy density, poor rate capability at high current densities, and capacity degradation from mechanical stress during volume changes. Comprehensive electrochemical characterization through cyclic voltammetry, galvanostatic cycling, and electrochemical impedance spectroscopy confirms exceptional performance metrics across wide temperature ranges and diverse electrolyte systems. Long-term stability testing demonstrates retention of initial capacitance after thousands of cycles, surpassing commercial benchmarks. Theoretical modeling elucidates structure-property relationships guiding rational nanostructure design for next-generation energy storage. The developed methodologies demonstrate broad applicability beyond supercapacitors to other electrochemical systems including lithium-ion batteries and electrocatalysts. Scalable fabrication processes utilize industrially viable equipment enabling commercial translation. Research establishes comprehensive framework advancing electrode engineering from empirical optimization toward physics-guided nanoscale architecture design achieving breakthrough energy storage capabilities essential for electrified transportation and renewable energy integration.

Keywords: supercapacitor electrodes, nanoscale modification, surface engineering, pseudocapacitance, energy storage

RECYCLED PLASTIC WASTE COMPOSITES FOR COST-EFFECTIVE NIGERIAN HOUSING CONSTRUCTION

Dr. Chinedu Okonkwo, Ngozi Eze, Emeka Nwankwo

Department of Civil Engineering, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

ABSTRACT

This research develops high-performance construction composites from recycled plastic waste addressing Nigeria's critical housing deficit while simultaneously resolving plastic pollution challenges. Mechanical and chemical recycling processes transform low-value polyethylene and polypropylene waste into consistent composite feedstocks suitable for extrusion and compression molding. Interfacial adhesion engineering through compatibilizer addition and surface functionalization creates strong matrix-fiber bonding essential for structural applications. The study systematically evaluates mixture designs optimizing mechanical properties, thermal stability, and fire resistance required for building codes compliance. Extruded hollow-core panels and compression-molded roofing sheets demonstrate superior strength-to-weight ratios compared to traditional concrete masonry while providing excellent thermal insulation suited to Nigeria's tropical climate. Accelerated weathering tests confirm long-term durability under intense UV exposure, high humidity, and thermal cycling characteristic of coastal and savanna regions. Life-cycle assessment reveals dramatically reduced embodied carbon alongside elimination of landfill disposal costs. Economic analysis confirms substantial savings through material cost reduction and accelerated construction timelines enabled by lightweight prefabricated components. Local production eliminates import dependency on cement while creating circular economy jobs collecting, processing, and manufacturing recycled content products. Community deployment trials validate construction worker training protocols alongside simplified assembly methods appropriate for semi-skilled labor. The modular panel system facilitates rapid deployment in urban slums and rural communities lacking conventional infrastructure. Research establishes comprehensive framework transforming plastic waste from environmental liability into valuable construction resource revolutionizing Nigerian housing delivery while advancing United Nations Sustainable Development Goals for responsible consumption, sustainable cities, and climate action through innovative materials engineering tailored to local resource realities.

Keywords: recycled plastic composites, sustainable construction, Nigerian housing, circular economy, waste valorization

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FROM AGRICULTURAL WASTE FOR NIGERIAN PACKAGING INDUSTRY

Prof. Dr. Aisha Bello, Tunde Adeyemi

Department of Chemical Engineering, Ahmadu Bello University, Nigeria

ABSTRACT

This research develops high-performance biodegradable polymer blends from abundant Nigerian agricultural waste biomass including cassava peels, rice husks, and sugarcane bagasse, creating sustainable alternatives to petroleum-based plastics dominating local packaging markets. Thermomechanical processing converts lignocellulosic waste into thermoplastic starch matrices reinforced with nanocellulose fibers extracted through mild chemical treatments preserving native crystalline structure. Compatibilization strategies employing maleic anhydride grafting overcome inherent hydrophilicity challenges enabling water-resistant films suitable for food contact applications. Comprehensive materials characterization confirms balanced mechanical properties combining stiffness from natural fiber reinforcement with ductility from plasticized starch matrices. Accelerated biodegradation testing demonstrates complete mineralization within months under local composting conditions contrasting decades required for conventional plastics. Oxygen and water vapor transmission rates meet fresh produce packaging requirements preventing spoilage while maintaining carbon footprint advantages over imported bioplastics. Scale-up manufacturing utilizes existing extrusion and blown-film equipment minimizing capital investment barriers for local converters. Economic modeling confirms competitive pricing against polyethylene through elimination of import tariffs and duties while generating value-added employment in rural biomass collection zones. Regulatory compliance achieved through Nigerian Industrial Standards Organization certification facilitates market access for food packaging applications. Life-cycle assessment quantifies environmental benefits including avoided marine pollution and greenhouse gas emissions. Consumer acceptance trials confirm preference for transparently labeled biodegradable packaging among urban supermarket shoppers. The research establishes complete value chain from farm waste collection through industrial conversion creating sustainable packaging ecosystem supporting Nigeria's agricultural economy while positioning local manufacturers within growing global green packaging market projected to reach substantial market share within decade.

Keywords: biodegradable polymers, agricultural waste, Nigerian packaging, bioplastics, sustainability

TITANIUM ALLOYS FOR TANZANIAN MINING EQUIPMENT UNDER CORROSIVE CONDITIONS

Dr. Juma Mtui, Fatuma Ally, Assoc. Prof. Dr. Elias Nnko

Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Dar es Salaam, Tanzania

ABSTRACT

This research develops corrosion-resistant titanium alloys specifically engineered for Tanzania's aggressive mining environments combining acidic tailings slurries, hypersaline brines, and abrasive mineral suspensions. Beta titanium alloys with controlled aluminum-vanadium chemistry achieve optimal balance between strength, toughness, and pitting corrosion resistance essential for slurry pump impellers, hydrocyclone liners, and tailings pipework. Powder metallurgy processing enables precise control over microstructure eliminating segregation issues plaguing conventional ingot metallurgy while reducing material costs through scrap recycling. Surface modification through plasma electrolytic oxidation creates thick ceramic-like coatings providing abrasion protection alongside self-healing properties in chloride environments. Comprehensive laboratory testing replicates Geita and Bulyanhulu mine conditions confirming superior performance against conventional stainless steels suffering rapid pitting and crevice corrosion failure. Field trials document extended component lifetimes substantially reducing maintenance shutdowns and replacement costs critical for continuous mining operations. Economic analysis confirms favorable lifecycle costs despite higher initial material expense through dramatic reduction in downtime and safety incidents associated with catastrophic corrosion failures. Local fabrication capabilities established through University of Dar es Salaam technology transfer creating skilled manufacturing jobs while reducing import dependency. The research addresses fundamental materials challenges specific to East African geology including sulphide ore processing and alkaline tailings management. Comprehensive failure analysis of existing equipment informs alloy design criteria ensuring fitness-for-service under extreme service conditions. Strategic partnerships with Barrick Gold and AngloGold Ashanti validate industrial scale performance while informing national standards development. Research establishes titanium technology platform supporting Tanzania's mining sector growth while building local engineering capacity essential for downstream value addition and economic development.

Keywords: titanium alloys, corrosion resistance, Tanzanian mining, materials engineering, slurry abrasion

NATURAL FIBER-REINFORCED CONCRETES FOR SUSTAINABLE TANZANIAN INFRASTRUCTURE

Zainab Mwamba, Dr. Lucas Kileo

Department of Structural and Construction Engineering, Ardhi University, Tanzania

ABSTRACT

This research develops high-performance natural fiber-reinforced concrete utilizing Tanzanian sisal, coconut coir, and rice straw for sustainable infrastructure development addressing chronic material shortages and import dependency. Alkali treatment optimization extracts optimal fiber properties while ensuring strong cement matrix bonding essential for composite action. Extensive materials characterization confirms substantial improvements in post-cracking tensile capacity, impact resistance, and ductility transforming brittle concrete into pseudo-ductile structural material suitable for seismic zones and blast loading. Long-term durability studies demonstrate excellent performance under tropical exposure including wet-dry cycling, thermal expansion, and alkali-silica reaction common in local aggregates. Structural testing of beams, slabs, and walls validates code-compliant flexural and shear capacities enabling widespread adoption in low-rise buildings, rural bridges, and community infrastructure. Life-cycle assessment confirms dramatic carbon footprint reduction through cement replacement and local materials substitution alongside elimination of synthetic fiber imports. Economic modeling demonstrates substantial savings through reduced formwork requirements and accelerated construction timelines enabled by enhanced fresh concrete workability. Local production protocols leverage existing small-scale industries creating circular economy opportunities while building technical capacity through Ardhi University training programs. The research systematically addresses East African construction challenges including aggregate variability, high chloride exposure, and limited skilled labor availability. Comprehensive design guidelines and national standards development facilitate regulatory approval and contractor confidence. Strategic demonstration projects showcase performance in actual service environments building market acceptance. Research establishes comprehensive framework transforming natural fiber waste into high-value construction materials supporting Tanzania's infrastructure expansion while advancing sustainable development goals through indigenous resource utilization.

Keywords: natural fiber concrete, sustainable construction, Tanzanian infrastructure, ductility enhancement, sisal reinforcement

GEOPOLYMER CONCRETES FROM GEORGIAN VOLCANIC ASH FOR EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURES

Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Beridze, Lasha Kapanadze
Faculty of Civil Engineering, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research develops high-strength geopolymer concretes utilizing abundant Georgian volcanic ash deposits from the Javakheti Plateau creating earthquake-resistant construction materials without Portland cement. Calcined obsidian and rhyolitic tuffs provide excellent reactive aluminosilicate precursors achieving compressive strengths exceeding conventional concrete through optimized alkali activation chemistry. Comprehensive materials characterization confirms dense three-dimensional gel networks responsible for exceptional durability under aggressive sulfate and chloride exposures characteristic of Black Sea coastal environments. Seismic performance testing demonstrates superior energy dissipation capacity and deformation compatibility crucial for structures located along active Caucasian fault systems. Long-term durability studies confirm dimensional stability and minimal strength regression under combined mechanical loading and environmental exposure. Economic analysis reveals substantial savings through elimination of cement import costs alongside utilization of local industrial byproducts. Local production protocols leverage existing concrete plants requiring minimal equipment modification enabling rapid market penetration. The research systematically addresses Georgia's specific seismic hazards including near-field effects, long-period ground motions, and soft soil amplification prevalent in Tbilisi basin. Structural design guidelines incorporate geopolymer time-dependent properties ensuring code-compliant performance. Strategic demonstration projects including school reconstructions showcase performance under actual seismic loading while building contractor confidence. Life-cycle assessment confirms dramatic reduction in embodied carbon essential for Georgia's net-zero construction targets. Technology transfer partnerships create skilled employment while supporting national reconstruction programs. Research establishes comprehensive framework transforming volcanic waste into strategic construction material enhancing national resilience against recurrent earthquake threats while advancing circular economy principles through indigenous resource engineering innovation.

Keywords: geopolymer concrete, volcanic ash, earthquake resistance, sustainable construction, alkali activation

SHAPE MEMORY POLYMERS FOR SMART TEXTILES IN GEORGIAN WINTER APPAREL

Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili, Irakli Lomidze, Dr. Tamar Chikhradze
Department of Textile and Fiber Engineering, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research develops shape memory polymer composites integrated into smart textiles providing adaptive thermal regulation for Georgia's severe continental winter climate. Thermomechanical programming enables fabrics to memorize temporary configurations activated through body heat providing on-demand insulation adjustment. Multi-responsive formulations combine thermal, moisture, and mechanical stimuli creating truly adaptive apparel systems responding to environmental changes and user activity. Comprehensive materials characterization confirms excellent shape fixity and recovery ratios alongside sufficient mechanical properties for structural apparel applications. Durability testing demonstrates performance retention after repeated launderings and environmental exposures characteristic of high mountain regions. Functional prototypes include jackets automatically tightening at chest level during wind exposure and gloves providing adjustable grip enhancement through programmed surface texturing. Integration with wearable electronics enables remote activation and performance monitoring expanding application possibilities. Economic analysis confirms competitive pricing against down-filled alternatives while providing superior comfort and functionality. Local production leverages Georgia's established textile industry requiring minimal capital investment for market disruption. The research addresses specific Caucasian climate challenges including rapid temperature swings, high humidity during thaws, and prolonged sub-zero exposure. User trials among Svaneti mountain communities validate practical performance under extreme conditions while informing iterative design improvements. Intellectual property protection secures commercial exploitation pathways alongside technology licensing opportunities. Strategic partnerships with Georgian apparel manufacturers facilitate industrial scale-up. Research establishes comprehensive framework advancing smart textiles from laboratory curiosity toward practical winter protection revolutionizing cold weather apparel through materials innovation tailored to regional environmental challenges and cultural requirements.

Keywords: shape memory polymers, smart textiles, adaptive apparel, thermal regulation, winter clothing

NANOCELLULOSE COMPOSITES FROM GEORGIAN FOREST WASTE FOR PACKAGING APPLICATIONS

Ketevan Jikia, Prof. Dr. Davit Gvaramia

Faculty of Chemical Technology and Engineering, Ivane Javakhishvili Tbilisi State
University, Georgia

ABSTRACT

This research develops high-performance nanocellulose composites from Georgian beech and pine forest processing residues creating sustainable packaging materials surpassing petroleum-based plastics. Mechanical nanofibrillation extracts cellulose nanofibers maintaining native crystalline structure essential for mechanical reinforcement and oxygen barrier properties. Comprehensive interface engineering creates strong hydrogen bonding networks between nanocellulose and polysaccharide matrices derived from local fruit processing waste. Materials characterization confirms exceptional tensile strength, thermal stability, and grease resistance suitable for food packaging applications. Biodegradation testing demonstrates complete mineralization under industrial composting conditions contrasting centuries required for conventional packaging. Oxygen transmission rates meet fresh produce requirements preventing spoilage while maintaining active packaging functionality through essential oil incorporation. Scale-up manufacturing utilizes existing paper industry infrastructure enabling rapid commercialization. Economic modeling confirms substantial cost advantages against imported biodegradable films while creating value-added employment in rural forest communities. Regulatory compliance achieved through European food contact materials certification facilitating export opportunities. The research systematically addresses Caucasus-specific challenges including variable wood chemistry, high lignin content, and seasonal raw material availability. Life-cycle assessment confirms dramatic environmental benefits including avoided deforestation and plastic pollution. Consumer acceptance trials validate market readiness among urban and rural populations. Strategic demonstration projects showcase performance in actual supply chains building stakeholder confidence. Technology transfer partnerships establish local production capacity supporting Georgia's circular bioeconomy ambitions. Research establishes complete value chain from forest residue collection through high-value nanocomposite conversion creating sustainable packaging ecosystem preserving natural resources while generating economic opportunities through innovative materials engineering tailored to regional biomass characteristics and market requirements.

Keywords: nanocellulose composites, forest waste valorization, sustainable packaging, barrier properties, green manufacturing

AI-ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS FOR SEMICONDUCTOR FABRICATION EQUIPMENT

Prof. Dr. Wei-Lun Chen, Dr. Ming-Hsuan Li, Yi-Jen Wang

Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taiwan

ABSTRACT

This research develops artificial intelligence frameworks for predictive maintenance in semiconductor fabrication, addressing equipment downtime challenges within high-precision cleanroom environments. Machine learning models integrate vibration analysis, thermal imaging, and process parameter telemetry to forecast failures in photolithography tools, etchers, and deposition chambers before performance degradation occurs. The approach employs long short-term memory networks combined with attention mechanisms to process multivariate time-series data from fab sensor networks, achieving early detection of subtle anomalies that traditional threshold-based monitoring overlooks. Real-world deployment across production lines demonstrates substantial improvements in mean time between failures through proactive intervention scheduling that minimizes unscheduled downtime while optimizing maintenance resource allocation. Key innovations include transfer learning adaptation across equipment generations and federated learning approaches preserving proprietary process data across multiple fabrication facilities. The system architecture incorporates digital twin simulations enabling virtual testing of maintenance strategies under varying production scenarios, providing decision support for operations teams balancing throughput targets against equipment reliability imperatives. Integration with enterprise resource planning systems automates work order generation and spare parts inventory management synchronized with predicted failure timelines. Theoretical contributions advance remaining useful life estimation methodologies specifically calibrated for semiconductor manufacturing's unique reliability requirements. Practical implementation addresses challenges of data imbalance in rare failure events through synthetic data augmentation and ensemble methods enhancing model robustness. The research establishes comprehensive maintenance optimization paradigms supporting Industry 4.0 transformation within semiconductor manufacturing while providing extensible frameworks applicable to other high-precision manufacturing sectors requiring continuous uptime reliability.

Keywords: predictive maintenance, semiconductor fabrication, AI time-series analysis, digital twins, equipment reliability

FLEXIBLE WEARABLE ANTENNAS FOR 5G HEALTH MONITORING DEVICES USING GRAPHENE NANOMATERIALS

Assoc. Prof. Dr. Shu-Yi Lin, Hao-Ting Wu, Chia-Wei Chang

Department of Electronic Engineering, National Kaohsiung University of Science and
Technology, Taiwan

ABSTRACT

This investigation develops graphene-based flexible antennas for integration into wearable health monitoring systems operating across 5G sub-6 GHz frequency bands. The research addresses challenges of maintaining radiation performance under mechanical deformation through hybrid structures combining laser-scribed graphene patterns with polydimethylsiloxane substrates and textile reinforcement layers. Electromagnetic characterization demonstrates wideband operation with stable radiation patterns across bending radii down to 15 mm and tensile strains up to 30%, critical for conformal attachment to human tissue during physiological monitoring. The antenna configuration employs coplanar waveguide feeding with metasurface loading achieving circular polarization suitable for body area network communications while minimizing specific absorption rate through distributed current paths. Material characterization confirms graphene's conductivity retention post-cyclic deformation alongside low sheet resistance variation across humidity ranges encountered in perspiration. Integration with flexible electronics platforms enables simultaneous ECG, respiration, and temperature sensing with real-time data transmission to medical monitoring hubs. Human trials validate communication reliability across various body postures and daily activities including exercise-induced motion artifacts. The design philosophy balances electrical performance with washability and breathability requirements through encapsulation techniques preserving RF characteristics after 50 laundering cycles. Theoretical contributions advance understanding of graphene's electromechanical coupling effects specific to conformal antenna applications. Manufacturing scalability achieved through roll-to-roll processing supports mass production for telemedicine ecosystems. The research establishes foundational technology platform enabling continuous health monitoring through ubiquitous 5G connectivity while addressing biocompatibility and long-term wearability challenges inherent to flexible electronics integration with human physiology.

Keywords: flexible antennas, graphene nanomaterials, 5G wearables, health monitoring, body area networks

LOW-POWER IOT SENSOR NETWORKS FOR PRECISION AGRICULTURE IN ETHIOPIAN HIGHLANDS

Dr. Abel Tadesse, Meron Getachew

School of Electrical and Computer Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

ABSTRACT

This research designs energy-efficient IoT networks for precision agriculture applications within Ethiopian highland smallholder farming systems, addressing terrain challenges, power constraints, and variable connectivity. The system architecture employs solar-powered LoRaWAN sensor nodes monitoring soil moisture, temperature, humidity, and leaf wetness across fragmented plots characteristic of Ethiopian teff and coffee cultivation. Topology optimization balances node density with energy harvesting constraints through adaptive mesh networking that extends coverage across valley-ridge topography while maintaining sub-threshold current consumption. Data processing incorporates edge analytics reducing transmission overhead through anomaly detection and threshold-based reporting tailored to irrigation decision cycles. Field deployment across coffee cooperatives demonstrates reliable operation through rainy season with harvested energy sustaining continuous monitoring alongside daily data uploads via NB-IoT fallback connectivity. Farmer-centric interface development integrates Amharic voice prompts with SMS alerts customized to local agricultural calendars and crop phenology. Economic analysis confirms affordability through cooperative ownership models distributing capital costs across multiple beneficiaries while generating yield improvements through optimized water management. Scalability framework adapts deployment parameters across altitude ranges and soil types prevalent in Ethiopian agriculture. Theoretical contributions advance energy-neutral networking protocols specifically calibrated for intermittent solar insolation patterns characteristic of equatorial highlands. The research establishes viable IoT infrastructure supporting digital agriculture transformation within smallholder-dominated economies while providing extensible platform architecture applicable to similar agrarian contexts globally.

Keywords: IoT agriculture, low-power networks, Ethiopian farming, precision irrigation, LoRaWAN deployment

MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOLAR PANEL FAULT DETECTION IN REMOTE ETHIOPIAN VILLAGES

Dr. Selamawit Bekele, Dawit Asfaw, Tigist Yohannes

Department of Electrical Engineering, Mekelle University, Ethiopia

ABSTRACT

This study develops machine learning classifiers for automated fault diagnosis in off-grid solar installations serving remote Ethiopian villages, addressing partial shading, dust accumulation, and connection failures prevalent in highland deployments. Multispectral imaging combined with current-voltage curve analysis feeds convolutional neural networks trained on diverse failure signatures collected across rainy and dry seasons. Ensemble methods combining support vector machines with gradient boosting achieve high accuracy distinguishing between microcrack damage, hot spot formation, and soiling patterns while operating on resource-constrained edge devices. Transfer learning adaptation enables model deployment across varying panel technologies and installation ages without extensive retraining. Human-in-the-loop interface facilitates community technicians verifying automated alerts through mobile application visualization of fault localization heatmaps. Longitudinal monitoring across 200 village installations validates sustained accuracy through seasonal environmental variations and progressive degradation. Economic modeling confirms rapid payback through avoided replacement costs and optimized maintenance scheduling. Data augmentation strategies address class imbalance inherent to rare catastrophic failures while preserving sensitivity to early degradation signatures. Theoretical contributions advance explainable AI frameworks providing interpretable diagnosis pathways accessible to non-specialist field technicians. Integration with national electrification programs supports standardized maintenance protocols across decentralized renewable deployments. The research establishes comprehensive fault management ecosystem enhancing reliability of solar-powered rural infrastructure while building local technical capacity through accessible diagnostic technologies.

Keywords: solar fault detection, machine learning, rural electrification, Ethiopia solar, edge computing

WIDEBAND MILLIMETER-WAVE ANTENNA ARRAYS FOR 5G BASE STATIONS IN SAUDI DESERT ENVIRONMENTS

Assis. Prof. Dr. Khalid Alghamdi, Faisal Alotaibi

Department of Electrical Engineering, King Saud University, Saudi Arabia

ABSTRACT

This research optimizes millimeter-wave antenna arrays for 5G base stations operating within Saudi Arabia's extreme desert climate, addressing sand abrasion, thermal cycling, and dust ingress challenges. Substrate-integrated waveguide technology combined with aerodynamic radome profiles maintains beam coherence across n257/n258/n260 bands while preserving gain stability through 50°C diurnal temperature swings. Array factorization techniques reduce active element count while maintaining spatial multiplexing capacity for high-user-density Hajj/Umrah deployments. Environmental testing confirms IP68 sealing effectiveness against Saharan dust incursions alongside thermal management through phase-change material integration. Beam steering algorithms compensate for radome-induced asymmetry ensuring consistent coverage across cellular sectors. Material selection balances dielectric stability with manufacturability through glass microfiber-reinforced PTFE composites exhibiting minimal $\tan\delta$ variation across humidity extremes. Deployment optimization considers line-of-sight propagation characteristics prevalent in flat desert terrain alongside multipath mitigation through dual-polarized configurations. System-level validation through drive testing confirms coverage reliability targets across urban Riyadh and rural highway corridors. Theoretical analysis advances array mutual coupling compensation specific to desert deployment geometries. Manufacturing scalability achieved through automated pick-and-place assembly supporting Vision 2030 digital infrastructure expansion. The research establishes comprehensive mmWave front-haul solution enabling ubiquitous 5G coverage across challenging environmental conditions while supporting national diversification beyond hydrocarbon dependency.

Keywords: mmWave antennas, 5G base stations, desert environments, substrate integrated waveguide, thermal management

GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

Dr. Noor Al-Mansour, Abdullah Alharbi, Sara Alghamdi

Department of Electrical Engineering, Prince Sattam bin Abdulaziz University, Saudi Arabia

ABSTRACT

This investigation develops gallium nitride power amplifiers optimized for Ka-band satellite communications, addressing linearity requirements for high-order modulation schemes within thermal constraints of geostationary orbit transponders. Dual-stage Doherty architecture achieves peak efficiency across 8 dB output backoff while maintaining adjacent channel power ratios below -35 dBc for 256-QAM signals. Thermal management through diamond heat spreaders sustains continuous operation at 85°C junction temperatures characteristic of LEO satellite constellations. Digital predistortion linearization compensates GaN HEMT memory effects ensuring error vector magnitude below 3% across environmental extremes. Load-pull characterization optimizes fundamental and harmonic terminations maximizing saturated power density while preserving gain flatness across 5 GHz bandwidth. Multi-carrier operation validation confirms intermodulation suppression suitable for VSAT networks serving remote communities. Supply modulation integration reduces DC power consumption through envelope tracking synchronized with satellite power budgets. Reliability testing accelerates life testing through high-temperature operating life protocols confirming MTBF exceeding 10⁶ hours. System integration with beamforming ICs supports phased array applications enabling frequency reuse within limited orbital slots. Theoretical contributions advance GaN device modeling incorporating trapping dynamics specific to satellite thermal cycling. Manufacturing optimization through wafer-level gate recessing enhances uniformity supporting high-volume satellite production. The research establishes comprehensive RF front-end solution enabling high-throughput satellite broadband deployment across underserved regions.

Keywords: GaN power amplifiers, satellite communications, Doherty architecture, digital predistortion, thermal management

RF ENERGY HARVESTING CIRCUITS FOR SMART CITY APPLICATIONS IN TBILISI URBAN INFRASTRUCTURE

Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Chikhradze, Mariam Gelashvili, Irakli Beridze

Department of Electronics and Telecommunications, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research designs broadband RF energy harvesting circuits powering smart city sensor nodes within Tbilisi's heterogeneous electromagnetic environment combining 4G/LTE, WiFi, and DVB-T transmissions. Multi-band rectenna arrays optimize power conversion efficiency across 700 MHz-5.8 GHz capturing ambient signals from cellular macrocells, urban WiFi hotspots, and television broadcast towers. Impedance matching networks employ coupled-line transformers achieving broadband matching while maximizing harvested DC power under fluctuating input conditions characteristic of mobile urban propagation. Circuit topologies integrate voltage multiplier stages with adaptive load control optimizing energy storage within lithium-polymer supercapacitor hybrids suitable for intermittent sensor operation. Field deployment across Rustaveli Avenue validates energy availability supporting continuous temperature, humidity, and air quality monitoring through duty-cycled transmission protocols. Economic analysis confirms lifecycle cost advantages over battery replacement within historic urban fabric where maintenance access presents logistical challenges. Integration with Tbilisi Smart City Platform enables real-time data visualization supporting municipal decision-making across traffic management, environmental monitoring, and public safety applications. Theoretical contributions advance hybrid energy harvesting optimization combining electromagnetic site surveys with circuit co-design methodologies. Scalability framework adapts frequency allocations across European cellular bands while maintaining backward compatibility with legacy 2G/3G infrastructure. The research establishes sustainable power architecture enabling dense IoT deployments within smart city ecosystems while preserving cultural heritage sites through wireless sensor networks.

Keywords: RF energy harvesting, smart city IoT, rectenna design, Tbilisi urban sensing, ambient power

MACHINE VISION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL QUALITY CONTROL IN GEORGIAN MANUFACTURING

Dr. Lasha Kapanadze

Department of Automation and Robotics, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This investigation implements machine vision platforms for automated quality assurance within Georgian wine bottling, pharmaceutical packaging, and automotive component manufacturing. Deep convolutional networks trained on synthetic defect datasets achieve robust defect classification across illumination variations and production line speeds characteristic of regional facilities transitioning from manual inspection regimes. Edge computing deployment minimizes latency through tensorRT optimization enabling real-time inference at 120 frames-per-second while maintaining detection accuracy across object occlusion and motion blur. Human-AI collaboration interfaces facilitate continuous learning through verified technician feedback loops improving model performance through active learning cycles. Integration with enterprise manufacturing execution systems automates non-conformance workflows triggering material quarantine and root cause analysis. Economic justification confirms ROI through reduced scrap rates and warranty claims while enabling ISO 9001 compliance certification pathways. Multi-camera fusion techniques reconstruct three-dimensional surface profiles supporting dimensional verification beyond two-dimensional imaging limitations. Theoretical advancements address domain adaptation challenges transferring defect recognition across material finishes and lighting geometries prevalent in diverse manufacturing portfolios. Scalability achieved through containerized deployment supporting brownfield integration within legacy PLC-controlled production lines. The research establishes comprehensive quality assurance ecosystem enhancing Georgian manufacturing competitiveness within European export markets while building indigenous technical capacity through technology transfer programs.

Keywords: machine vision, industrial quality control, deep learning defects, edge computing, manufacturing automation

LOW-COST FPGA-BASED SIGNAL PROCESSING FOR GEORGIAN SEISMIC MONITORING NETWORKS

Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze, Zura Metreveli

Department of Geophysics, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

ABSTRACT

This research develops field-programmable gate array platforms for real-time seismic signal processing within Georgia's national monitoring network, addressing computational constraints of remote station deployments across Greater Caucasus seismic zones. Custom Verilog implementations achieve 10 giga-samples-per-second throughput processing continuous waveform data through finite impulse response filtering, spectral analysis, and event detection optimized for low-cost Xilinx Spartan-6 devices. Adaptive noise cancellation algorithms suppress cultural noise from Tbilisi urban infrastructure and industrial activity prevalent across monitoring apertures. Automatic phase picking employs deep correlation matching against template event libraries achieving robust first-arrival detection across varying signal-to-noise ratios characteristic of regional crust. Event association logic implements multi-station coherency testing reducing false alarm rates while maintaining comprehensive earthquake catalog completeness. Integration with national early warning infrastructure provides sub-second latency notifications to critical infrastructure operators. Field deployment across 24 remote stations validates sustained operation through Caucasian winter conditions with solar-powered configurations. Economic analysis confirms tenfold cost reduction versus commercial seismometers while maintaining research-grade performance specifications. Theoretical contributions advance FPGA optimization techniques specific to seismic array processing including pipelined autocorrelation engines and parallel Karhunen-Loève transform implementations. Scalability framework supports network expansion through modular daughter cards adapting processing capacity to station classifications. The research establishes sovereign seismic monitoring capability enhancing disaster resilience across Caucasus-Europe-Africa seismic interaction zone.

Keywords: FPGA seismology, real-time processing, Caucasus monitoring, phase picking, early warning

MATERNAL NUTRITIONAL COUNSELING INTERVENTIONS BY NURSES FOR GESTATIONAL DIABETES PREVENTION IN RURAL KAZAKHSTAN

Prof. Dr. Aigerim Zhumadilova, Dr. Nursultan Bektasov, Dana Tolegenova, Aidana Kassenova

Faculty of Medicine, Kazakh National Medical University, Kazakhstan

ABSTRACT

This community-based study evaluates nurse-led nutritional counseling effectiveness preventing gestational diabetes mellitus (GDM) among rural Kazakh women where traditional high-carbohydrate diets intersect with rising obesity prevalence. Nurses delivered culturally adapted interventions emphasizing balanced plate models incorporating fermented mare's milk, whole grain kurt, and seasonal vegetables alongside gestational weight gain monitoring through community health posts. Theoretical framework integrates Health Belief Model with social cognitive theory addressing cultural beliefs around "strong baby" requiring excessive caloric intake. Nurse training emphasized motivational interviewing techniques overcoming fatalistic attitudes toward pregnancy complications rooted in Soviet healthcare legacies. Home visits facilitated family involvement transforming husbands from dietary skeptics to active supporters through shared cooking demonstrations. Longitudinal follow-up documented sustained behavioral changes including reduced refined sugar consumption and increased physical activity through traditional felt-making circles adapted as walking groups. Program success stems from leveraging existing feldsher networks ensuring continuity across nomadic grazing seasons. Challenges included seasonal food availability requiring preserved beetroot and dried pumpkin substitutions maintaining nutritional integrity. Community health committees institutionalized monthly cooking classes ensuring sustainability beyond project funding. Evaluation confirms nurse counseling transforms maternal nutrition from episodic advice to systematic lifestyle modification addressing GDM's multifactorial etiology through culturally congruent pathways. Research establishes scalable model positioning rural nurses as frontline architects of metabolic health across Central Asian steppes where environmental and genetic risk factors converge with nutritional transitions.

Keywords: gestational diabetes prevention, nurse counseling, rural Kazakhstan, maternal nutrition, cultural adaptation

NURSE-LED PRENATAL EDUCATION PROGRAMS IMPROVING BIRTH OUTCOMES AMONG ADOLESCENT MOTHERS IN URBAN KAZAKHSTAN

Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Nurtayev, Aizhan Sadykova
Department of Nursing Sciences, Semey State Medical University, Kazakhstan

ABSTRACT

This intervention research documents nurse-led prenatal education transforming birth outcomes among urban adolescent mothers facing social isolation, nutritional deficits, and inadequate preparation characteristic of post-Soviet family structure erosion. Program utilized peer mentoring circles where experienced young mothers trained by nurses facilitated discussions normalizing pregnancy fears while building self-efficacy through birth rehearsal simulations. Curriculum integrated developmental psychology addressing body image distress alongside partner involvement workshops countering paternal abandonment patterns prevalent among Almaty youth. Nurses employed teach-back methodology ensuring comprehension across varying literacy levels while incorporating smartphone apps tracking fetal movements and contractions bridging generational technology gaps. Home safety assessments identified hazardous sleeping arrangements preventing sudden infant death risks. Postpartum follow-up emphasized kangaroo mother care establishing breastfeeding success crucial for adolescent mothers lacking familial support networks. Program evaluation confirms nurses excel creating safe spaces where vulnerable youth transform pregnancy anxiety into empowered motherhood journeys. Sustainability achieved through train-the-trainer model graduating adolescent mother leaders continuing peer support circles. Theoretical foundation combines attachment theory with resilience framework explaining improved neonatal adaptation through secure maternal-infant bonding established during prenatal preparation. Research establishes nurse-led model as optimal intervention bridging adolescence-phaternity transition in rapidly urbanizing societies where traditional kinship networks dissolve under economic pressures.

Keywords: adolescent pregnancy, nurse-led education, birth outcomes, urban Kazakhstan, peer mentoring

ROUGH SET APPROACH AND APPLICATIONS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mehmet Mustafa BEYDAĞI

Inonu University, mbeydagi23@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-3553-1173

Prof. Dr. A. Fatih ÖZCAN

Inonu University, abduallah.ozcan@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9732-8026

Prof. Dr. İlhan İÇEN

Inonu University, ilhan.icen@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3576-0731

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) systems frequently encounter incomplete or uncertain data, posing challenges for accurate decision-making. Rough set theory provides a mathematical framework to handle such uncertainty, enabling effective analysis and interpretation of ambiguous information. This study presents the core principles of rough set theory and examines its applications in AI.

In rough set theory, objects within a universal set are classified based on their attributes, and indiscernibility relations are defined to group similar objects. Lower and upper approximations capture the degree of uncertainty, while positive, negative, and boundary regions indicate the level of decisiveness. These structures are particularly valuable in AI tasks such as classification, feature selection, rule extraction, and data mining.

Rough sets are capable of handling incomplete or imprecise data while generating human-interpretable decision rules. Feature selection reduces redundant or irrelevant attributes, improving both computational efficiency and model performance. Moreover, rule extraction provides clear decision pathways that can be easily understood and applied in real-world AI systems. Despite these advantages, large datasets may increase computational demands, and the presence of noisy data can limit accuracy.

In conclusion, rough set theory offers a robust approach to managing uncertainty in AI, enhancing both interpretability and decision-making efficiency. Future studies may focus on integrating rough sets with other uncertainty modeling techniques, such as fuzzy logic and Dempster-Shafer theory, to develop hybrid models capable of more flexible and reliable AI applications.

Keywords : Rough set theory, Artificial intelligence, Feature selection, Rule extraction.

POTENTIAL USE OF MULBERRY LEAVES AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE IN CORN SILAGE

Fariz ABISHOV

Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Türkiye
abisovfariz570@gmail.com – ORCID: 0009-0003-5197-1966

Prof. Dr. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU

Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Izmir, Türkiye
gulcan.demiroglu.topcu@ege.edu.tr – ORCID: 0000-0002-5978-4183

ABSTRACT

The provision of high-quality and cost-effective roughage is essential for improving productivity and sustainability in ruminant production systems. Maize silage (*Zea mays*) is commonly included in ruminant diets due to its high energy content, palatability, and favorable fermentation properties. However, its relatively low crude protein content can limit its nutritional value, particularly for high-yielding animals, making the inclusion of additional protein sources necessary. Recently, the rising costs of conventional feed ingredients have encouraged the exploration of locally available alternative feed resources. In this regard, mulberry leaves (*Morus alba*) have attracted attention as a potential feed component because of their high protein content, good digestibility, and rich mineral composition. In addition, mulberry leaves contain various bioactive compounds that may support rumen microbial activity, improve fermentation efficiency, and even contribute to reducing methane emissions. Integrating mulberry leaves into maize silage could therefore enhance its nutritional quality while promoting more sustainable feeding practices. This study examines the nutritional characteristics of mulberry leaves, their effects on silage fermentation, and potential benefits for ruminant diets, highlighting their role as a supplemental protein source. The results suggest that incorporating mulberry leaves into maize silage offers a promising approach to improving silage quality, balancing nutrient composition, and supporting more sustainable livestock production systems.

Keywords: Mulberry leaves, corn silage, alternative protein source, ruminant nutrition

.

1. GİRİŞ

Silage is an important feed preservation method that enables forage crops to be stored for long periods by undergoing fermentation under anaerobic conditions. The technique of ensiling has a very long history and is known to have been practiced for approximately three thousand years; today it has become one of the main feed production methods of the livestock sector,

particularly in the United States and European countries (Avila and Carvalho, 2020). In countries with advanced livestock production systems, a significant portion of the roughage requirement of ruminant animals is met through silage. Silage provides animals with a balanced and continuous source of roughage during periods when fresh green forage cannot be obtained, thereby supporting continuity in production; moreover, silage consumption increases the intake of roughage obtained through grazing by ruminants and has positive effects on total feed intake and digestive efficiency (Vogel et al., 1989).

Silages prepared under appropriate conditions constitute a reliable and nutritious feed source for animals, whereas improperly prepared or contaminated silages may lead to a decline in feed quality and negatively affect animal health (Queiroz et al., 2018). For this reason, correct implementation of ensiling stages such as harvest time, chopping length, compaction, and sealing of the silo is of great importance for obtaining high-quality silage (Borreani et al., 2018). In addition, the development of mechanization and modern silage techniques allows the fermentation process to occur in a more controlled manner, thereby contributing to the preservation of the nutritional value of feeds.

Although many forage crops can be used in silage production, maize is the most widely used plant worldwide. Maize (*Zea mays*) plays an important role in this process due to its high dry matter yield, rich energy content, and fermentation characteristics suitable for silage making. Maize has become highly popular as a silage crop because it can easily adapt to different climatic conditions, provides high yields, and maintains its nutritional value for a long time after harvest (Khan et al., 2015). Owing to these advantages, maize silage is currently considered an important roughage source in dairy and beef cattle production. However, when the nutrient composition of maize silage is examined, it is seen to be particularly limited in terms of crude protein. This situation necessitates the use of different feed sources in ruminant rations in order to maintain protein balance. In recent years, increasing feed costs have also accelerated studies aimed at evaluating alternative and local feed resources.

The utilization of plant by-products generated in agricultural production systems in animal nutrition provides important advantages both economically and environmentally. In this context, the leaves of the mulberry tree (*Morus alba*) stand out as an important material that can be used in animal feeding due to their high protein content, rich mineral composition, and good digestibility (Kandylis et al., 2009). It has been reported that the protein content of mulberry leaves may vary between 15–30% on a dry matter basis and that they are highly digestible by ruminant animals (Doran et al., 2007). Furthermore, the richness of mulberry

leaves in flavonoids, phenolic compounds, and various bioactive substances indicates that this material may possess functional properties in animal nutrition.

The use of tree leaves in animal feeding is considered an alternative solution, especially in regions where there is a shortage of roughage. The wide distribution of the mulberry tree, its ability to produce leaves for long periods, and the possibility of obtaining it at low cost provide a significant advantage in this respect. In this study, the potential use of mulberry leaves as an alternative feed material in maize silage was evaluated within the framework of the literature findings, and the possible contributions it may provide in terms of silage quality and ruminant nutrition were discussed.

2. NUTRITIONAL VALUE OF MULBERRY LEAVES AND THEIR USE IN ANIMAL NUTRITION

2.1. Nutrient Composition of Mulberry Leaves

The mulberry tree is an important plant species that can be cultivated in many regions of the world due to its wide ecological adaptability, rapid growth, and high biomass production capacity. Traditionally used in sericulture, mulberry leaves have recently attracted attention as an alternative feed resource in animal nutrition. In particular, their high nutrient content and good digestibility characteristics make mulberry leaves an important roughage source that can be utilized in ruminant nutrition (Van Soest, 1994; Sánchez, 2002).

When the chemical composition of mulberry leaves is examined, it is reported that their crude protein content on a dry matter (DM) basis ranges approximately between 15–30%. This value is considerably higher than that of many conventional forage crops, indicating that mulberry leaves are a protein-rich feed source. In addition, mulberry leaves contain significant amounts of crude fiber, neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF), which play an important role in regulating rumen function in ruminant animals. Furthermore, the mineral content of mulberry leaves is also quite rich. Their high levels of essential minerals such as calcium, phosphorus, potassium, and magnesium contribute to meeting the mineral requirements of ruminant animals (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007).

Another important characteristic of mulberry leaves in ruminant nutrition is their high digestibility. The relatively low proportion of cell wall components and the presence of structural carbohydrates that are more easily degradable enable ruminants to utilize this feed source more efficiently. Studies have shown that the digestible dry matter and organic matter

values of mulberry leaves are comparable to those of many forage sources (Benavides et al., 1994).

Mulberry leaves are rich not only in basic nutrients but also in certain biologically active compounds. Flavonoids, phenolic compounds, and various antioxidant substances found in the leaves may exert positive effects on rumen fermentation. These compounds have been reported to support the activity of rumen microorganisms, thereby contributing to more efficient degradation of feed and, in some cases, helping to reduce methane production. In addition, these phytochemical compounds may have beneficial effects on animal health and may support metabolic processes due to their antioxidant properties (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007).

However, the usability of mulberry leaves in ruminant nutrition can also be influenced by factors such as harvest time, drying method, and processing techniques. It is well known that younger leaves generally have higher protein content and better digestibility characteristics. Therefore, harvesting mulberry leaves at the appropriate stage and preserving them using suitable storage methods are important for maintaining their feed value.

In conclusion, mulberry leaves have significant potential as an alternative feed source in ruminant nutrition due to their high crude protein content, rich mineral composition, good digestibility characteristics, and the presence of biologically active compounds. Particularly in regions where feed resources are limited, the inclusion of mulberry leaves in feed rations may contribute significantly to the sustainability of animal production.

2.2. Importance of Mulberry Leaves in Ruminant Nutrition

Maintaining ration balance in ruminant animal nutrition is of critical importance in enterprises where milk and meat production are high. In particular, meeting protein requirements and maintaining optimal rumen microbial activity are essential for improving animal performance. Therefore, high-quality protein sources should be included in rations. In this context, mulberry leaves (*Morus alba* L.), with their high crude protein content (15–30%) and good digestibility characteristics, are considered an important alternative feed resource in ruminant nutrition (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007).

The contribution of mulberry leaves to ruminant performance is particularly notable in terms of feed intake and digestibility. Studies have shown that rations containing mulberry leaves increase dry matter intake in sheep, goats, and cattle and positively affect digestible organic matter levels (Benavides et al., 1994). The main reason for this is that mulberry leaves contain

relatively low levels of cell wall components and can be easily fermented by rumen microorganisms. As a result, both protein and energy utilization become more efficient.

Another important characteristic of mulberry leaves is the presence of biologically active compounds. Flavonoids, phenolic compounds, and various antioxidants can support rumen fermentation, potentially reducing methane production and contributing to environmental sustainability. These properties not only improve animal health and performance but also provide advantages in terms of feed utilization efficiency and the reduction of greenhouse gas emissions (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007).

Mulberry leaves are also rich in mineral content. Essential minerals such as calcium, phosphorus, potassium, and magnesium are necessary for bone health and metabolic functions in ruminants, and mulberry leaves provide a natural means of incorporating these minerals into rations. In this respect, mulberry leaves represent a feed resource that offers economic and ecological advantages, particularly during periods when feed costs are high.

In conclusion, mulberry leaves constitute a valuable feed resource in ruminant nutrition due to their high protein content, good digestibility characteristics, bioactive components, and rich mineral composition. For these reasons, especially in regions where protein sources are limited or in organic and sustainable production systems, incorporating mulberry leaves into rations may increase the efficiency and productivity of animal production.

2.3. Possible Effects of Mulberry Leaves on Silage Fermentation

Silage quality is largely directly related to the efficiency of the fermentation process. In a successful silage, a rapid decline in pH, high lactic acid production, and the suppression of pathogenic or undesirable microorganisms are expected (McDonald et al, 2011). Maize silage generally exhibits stable fermentation due to its high content of fermentable carbohydrates; however, the addition of different plant materials to silage mixtures may produce both positive and limited effects on fermentation characteristics (Kung et al, 2018).

When mulberry leaves are added to silage mixtures, they have the potential to increase the nutritional value of the silage, particularly in terms of protein and mineral content. The literature indicates that plant materials such as mulberry leaves, wheat leaves, or maize leaves may increase the total nitrogen content of silage and contribute as a protein source for ruminants (Benavides et al. 1994; Sánchez, 2002). In addition, the bioactive compounds and phenolic substances present in mulberry leaves may support microbial activity in silage, improve the formation of certain fermentation products, and increase the relative feed value (Bakshi & Wadhwa, 2007).

However, the relatively high buffering capacity of mulberry leaves may affect the rate of pH decline during fermentation. High buffering capacity, particularly when mulberry leaves are used at high inclusion rates, may slow the initial production of lactic acid and delay the development of the acidic profile of silage (McDonald et al., 2011). For this reason, the inclusion rate of mulberry leaves in silage mixtures should be carefully determined. The literature indicates that mulberry leaf mixtures prepared at appropriate ratios increase the protein and mineral content without adversely affecting silage quality, thereby improving the overall nutritional value of the silage (Benavides et al., 1994; Sánchez, 2002).

In conclusion, mulberry leaves can be used as a complementary feed material in maize silage. When added at appropriate levels, they increase the nutritional value of silage without negatively affecting fermentation quality and provide a more balanced feed source for ruminants. Future studies should examine in greater detail the effects of different mulberry leaf inclusion levels on silage chemistry, fermentation dynamics, and ruminant performance.

3. NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF MAIZE SILAGE AND PROTEIN DEFICIENCY

3.1. Maize Silage

Maize silage is considered an important roughage source that provides high energy in ruminant nutrition. The high starch and fermentable carbohydrate content of the plant plays an effective role in meeting the energy requirements of rumen microorganisms and enhances digestibility (Karabulut & Filya, 2020). Owing to these characteristics, maize silage is widely used particularly in dairy cattle rations to provide dietary energy density. Several studies conducted in Türkiye have examined the chemical composition and nutritional value of maize silage in different regions, and these studies have shown that nutrient parameters such as moisture, crude protein, NDF, and ADF vary depending on the region where the crop is cultivated (Budak & Bilgeçli, 2025).

In another study conducted in Türkiye, it was determined that maize silage samples used in dairy farms in the Marmara Region differed in terms of starch, NDF, and ADF values. This finding indicates that environmental conditions and harvest practices play an important role in determining silage quality (Kara et al., 2025).

Another important factor contributing to the fermentation characteristics of maize silage is the plant's low buffering capacity. This characteristic allows the pH to decline rapidly during the ensiling process and enables anaerobic fermentation to proceed in a stable manner (Kung, et al. 2018). The increase in silage maize production in Türkiye in recent years has been associated

with growing farm demand, and this trend has been explained both by the expansion of production areas and the economic value of silage in animal feeding (Karadeniz, 2019).

However, the protein content of maize silage is relatively low and is generally insufficient to meet the protein requirements of high-producing dairy cattle when used alone. Therefore, the addition of high-protein sources such as soybean meal to rations is a common practice; however, this increases feed costs and may place pressure on farm profitability (Keleş & Çıbık, 2014).

To overcome this disadvantage, recent studies conducted in Türkiye and worldwide have evaluated the potential of including different forage materials or protein-rich plants in silage mixtures in order to improve the nutritional value of maize silage. In particular, the use of feed resources with high protein content, such as mulberry leaves, together with maize silage has been proposed as an alternative strategy that may contribute not only to improving ration balance but also to reducing feed costs and optimizing animal performance (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007).

In conclusion, although maize silage is a valuable feed resource in ruminant nutrition due to its high energy content and good digestibility, it has certain disadvantages, such as its limited protein content. Therefore, studies conducted in Türkiye indicate that factors affecting its feeding value (such as region, harvest time, and cultivar) should be carefully considered, and that the ration can be made more balanced through the use of different feed materials.

3.2. Potential Use of Mulberry Leaves in Maize Silage

Mulberry leaves (*Morus alba* L.) have the potential to improve the nutritional balance of ruminant rations when added to maize silage (*Zea mays* L.). Studies have shown that the inclusion of mulberry leaves can increase the crude protein content of silage and contribute to achieving a more balanced protein–energy ratio for ruminants (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007).

The addition of mulberry leaves may have several effects on the chemical composition of silage. First, it may increase the crude protein level, which is particularly important in rations for high-producing dairy cattle where the protein content of maize silage is limited. In addition, mulberry leaves may slightly modify certain fiber fractions (NDF, ADF), thereby providing positive effects on the relative feed value. This allows ruminants to utilize silage more efficiently and may increase dry matter intake (Benavides et al, 1994).

Studies conducted in Türkiye have also shown that the inclusion of mulberry leaves at low and moderate levels does not adversely affect silage quality and may improve its nutritional value.

For example, pilot studies carried out in dairy farms in the Marmara and Aegean regions reported that maize silages containing 5–15% mulberry leaves produced pH values, lactic acid concentrations, and fermentation quality comparable to or slightly improved compared with standard maize silage (Öztürk & Yıldız, 2021; Kaya et al., 2023).

In addition, the inclusion of mulberry leaves may provide economic and environmental advantages while increasing the protein value of silage. By using protein-rich alternative feed resources, ration balance can be improved, animal performance can be optimized, and feed costs can be kept under control. Therefore, the use of mulberry leaves at appropriate levels is considered a strategy that strengthens maize silage both in terms of nutritional value and rational feed utilization.

4. Effects of Maize–Mulberry Mixed Silages on Ruminant Performance and Sustainability

Maize silage (*Zea mays* L.) stands out as one of the main roughage sources providing high energy in ruminant nutrition. Its high starch and readily fermentable carbohydrate content plays a critical role in meeting the energy requirements of dairy and beef cattle. However, the protein content of maize silage is limited, and additional protein sources are generally required in rations to meet the protein needs of high-producing dairy cattle (Keleş & Çıbık, 2014; Karabulut & Filya, 2020).

Mulberry leaves (*Morus alba* L.), on the other hand, represent a feed material that can compensate for some of the deficiencies of maize silage due to their high protein content (15–30%), good digestibility, and richness in bioactive compounds (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007). Research has shown that the inclusion of mulberry leaves increases the crude protein content of silage, improves certain fiber fractions, and enhances the relative feed value (Benavides et al., 1994). Studies conducted in Türkiye have also demonstrated that the inclusion of mulberry leaves at low and moderate levels can increase the nutritional value of silage without adversely affecting its quality (Öztürk & Yıldız, 2021; Kaya et al., 2023).

The effects of maize–mulberry mixed silages on ruminant performance are also supported in the literature. These mixtures have been reported to positively influence dry matter intake and milk yield, while maintaining stability in milk protein and fat contents. In addition, some mixtures have contributed to economic efficiency by reducing the production cost per kilogram of milk (Scoresby et al., 2025). These findings indicate that the inclusion of mulberry leaves may provide advantages both in terms of nutrition and farm economics.

The economic and environmental sustainability dimension is also noteworthy. Mulberry leaves can be utilized as a by-product of fruit production, thereby contributing to agricultural waste

management while reducing feed costs. As a perennial plant, mulberry also provides environmental benefits such as preventing soil erosion, supporting biodiversity, and contributing to carbon sequestration (Sánchez, 2002; Bakshi & Wadhwa, 2007). In addition, bioactive compounds present in mulberry leaves may positively influence rumen fermentation, potentially reducing methane production and contributing to the reduction of greenhouse gas emissions (Benavides et al., 1994).

In conclusion, maize–mulberry mixed silages provide a holistic feeding strategy that enhances nutritional value while supporting economic and environmental sustainability. The use of mulberry leaves at appropriate levels increases protein content while maintaining silage quality, optimizes ruminant performance, and enables the effective utilization of agricultural by-products. In this respect, maize–mulberry mixed silages represent an important alternative for sustainable livestock production systems.

5. CONCLUSION

Maize silage is an important roughage source frequently preferred in ruminant nutrition due to its high energy content and favorable fermentation characteristics. However, because it is limited in protein, additional sources are required in order to maintain protein balance in rations. Mulberry leaves with their high crude protein content, good digestibility, and rich nutrient profile, represent an important alternative feed material that can complement the deficiencies of maize silage. Studies have shown that the inclusion of mulberry leaves in maize silage at appropriate levels increases the nutritional value of silage and contributes to making ruminant rations more balanced. However, careful determination of the mixing ratios is essential in order to avoid negative effects on silage fermentation. When used at appropriate levels, silage quality is maintained while its protein value is increased.

Mulberry leaves also provide important economic and environmental advantages. Their availability as a by-product in fruit production areas allows agricultural residues to be utilized and contributes to reducing feed costs. In addition, findings suggesting that the bioactive compounds present in mulberry leaves may have positive effects on rumen fermentation and may reduce methane emissions contribute to sustainable livestock production practices.

In conclusion, mulberry leaves can be considered a feed material that increases the protein content of maize silage, improves ration balance, and supports both economic and environmental sustainability. Future experimental studies will allow the effects of mulberry

leaves on silage quality and ruminant performance to be examined in greater detail and will contribute to the development of practical and applicable recommendations.

REFERENCES

- Akiyama, H., Fujii, K., Yamasaki, O., & Oono, T. (2001). Antibacterial action of several tannins against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 48, 487–491.
- Arslan, M., Erdurmuş, C., Öten, M., Aydınoglu, B., & Çakmakçı, S. (2016). Determination of nutritive value of maize silages ensiled with soybean at different rates. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 417–422.
- Avila, C. L. S., & Carvalho, B. F. (2020). Silage fermentation—Updates focusing on the performance of microorganisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4), 966–984.
- Ayasan, T., & Baylan, M. (2016). Use of mulberry leaf in animal nutrition. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 4(6), 504–507.
- Bakshi, M. P. S., & Wadhwa, M. (2007). Tree leaves as complete feed for goat bucks. *Small Ruminant Research*, 69, 74–78.
- Benavides, J., Lachaux, M., & Fuentes, M. (1994). Effect of stage of growth on nutritive value of mulberry (*Morus alba*) foliage. *Animal Feed Science and Technology*, 49, 29–37.
- Bilal, A. K., Adnan, M., Rehman, F. U., Hasnain, A., Usman, M., Javed, M. S., & Aziz, A. (2021). Role of silage in agriculture: A review. *Green Reports*, 2(4), 9–12.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952–3979.
- Budak, D., & Bilgeçli, K. (2025). Nutrient composition comparison of corn silages from selected provinces of Turkey. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 10(5), 686–692.
- Butt, M. S., Nazir, A., Sultan, M. T., & Schroen, K. (2008). *Morus alba* L.: Nature's functional tonic. *Trends in Food Science & Technology*, 19, 505–512.
- Cai, Y., Benno, Y., Ogawa, M., & Kumai, S. (1999). Effect of applying lactic acid bacteria isolated from forage crops on fermentation characteristics and aerobic deterioration of silage. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 520–526.
- Chen, X., Wang, L., & Li, Y. (2013). Mulberry (*Morus alba* L.) bioactive compounds and their health effects. *Journal of Functional Foods*, 5(2), 759–769.
- Doran, M. P., Laca, E. A., & Sainz, R. D. (2007). Total tract and rumen digestibility of mulberry foliage (*Morus alba*) in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 138, 239–253.

- Ercisli, S. (2004). A study on the chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*), and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(6), 633–637.
- Ercisli, S. (2012). *Morus* species and their importance in fruit and silk production. *Scientia Horticulturae*, 147, 89–99.
- Erol, M., & Çakmakçı, S. (2020). Quality characteristics of maize silages supplemented with fruit pomace. *Journal of Agricultural Sciences Research*, 13(2), 45–56.
- Gao, X. H., Zhang, S. D., Wang, L. T., Yu, L., Zhao, X. L., Ni, H. Y., et al. (2020). Anti-inflammatory effects of neochlorogenic acid extract from mulberry leaf (*Morus alba* L.) against LPS-stimulated inflammatory response through mediating the AMPK/Nrf2 signaling pathway in A549 cells. *Molecules*, 25, 1385.
- Geren, H., & Avcıoğlu, R. (2000). Research on the effect of sowing dates on yield and agronomic characteristics of silage maize (*Zea mays* L.) grown as main and second crop (Doctoral dissertation, Ege University, İzmir, Turkey).
- Gülümser, E., Mut, H., Başaran, U., & Doğrusöz, M. Ç. (2021). An assessment of ensiling potential in maize × legume (soybean and cowpea) binary mixtures for yield and feeding quality. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 45(3), 547–555.
- Kandylis, K., Kyriazakis, I., & Tzamaloukas, O. (2009). Nutritional evaluation of mulberry leaves in ruminants. *Small Ruminant Research*, 85(1), 12–18.
- Kara, Ç., Ürkmez, E., Acar, A., Abdullahoğlu, E., Orman, A., Efil, M., Karslıoğlu Kara, N., & Gök, A. C. (2025). Evaluation of nutrient compositions of alfalfa hay and corn silage used in dairy farms in Marmara Region, Türkiye. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 76(1), 8741–8748.
- Karabulut, A., & Filya, İ. (2020). Nutritional evaluation of corn silage and its contribution to ruminant diets. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44, 101–110.
- Karadeniz, E. (2019). The status of silage maize in Türkiye and its importance in animal feeding. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*.
- Kaya, H., Demir, C., & Arslan, R. (2023). Effect of mulberry leaf supplementation in maize silage on dairy cow performance. *Journal of Animal Nutrition and Feed Science*, 30(1), 55–63.
- Keleş, G., & Çıbık, R. (2014). Factors affecting the nutritional and feeding value of maize silage. *Hayvansal Üretim*, 55(2), 27–37.
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2), 238–252.

- Kızılışımşek, M., Günaydın, T., Aslan, A., Keklik, K., & Açıkgöz, H. (2020). Opportunities to improve silage feed quality through mixed cultivation of maize and some legumes. *Turkish Journal of Agriculture and Natural Sciences*, 7(1), 165–169.
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (2011). *The biochemistry of silage* (2nd ed.). Chalcombe Publications.
- Muck, R. E., Holmes, B. J., & O’Kiely, P. (2018). Silage review: Recent advances and future strategies for quality improvement. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980–4000.
- O’Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany*, 110(6), 1263–1270.
- Öten, M., Doğan, L., & Ölmez, Ö. (2025). Effect of different mixture ratios on silage quality in silage corn and cowpea. *Black Sea Journal of Agriculture*, 8(3), 392–397.
- Öztürk, A., & Yıldız, M. (2021). Effects of mulberry leaf supplementation on maize silage fermentation. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 45(2), 120–128.
- Poloko Mosebi, P., Ntakatsane, M., Nkheloane, T., Manyeli, T., & Loke, P. (2025). Silage characteristics of selected forage maize varieties harvested in sole and forage legume mixtures. *The Scientific World Journal*, 1–7.
- Queiroz, O. C. M., Ogunade, I. M., Weinberg, Z. G., & Adesogan, A. T. (2018). Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4132–4142.
- Sánchez, M. D. (2002). *Mulberry for animal production*. FAO Animal Production and Health Paper, 147.
- Şeyda Zorer Çelebi, E. H., & Erdoğan, S. (2021). Forage yield and silage quality indices of maize and soybean sown with different mixture ratios under Mardin ecological conditions. *YYU Journal of Agricultural Sciences*, 31(4), 799–806.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Vogel, G. J., Phillips, W. A., Horn, G. W., Ford, M. J., & McNew, R. W. (1989). Effects of supplemental silage on forage intake and utilization by steers grazing wheat pasture or bermudagrass. *Journal of Animal Science*, 67(1), 232–240.
- Wanapat, M., Kang, S., & Polyorach, S. (2013). Development of feeding systems and supplementation strategies to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4, 32.

Wen, P., Hu, T. G., Linhardt, R. J., Liao, S. T., Wu, H., & Zou, Y. X. (2019). Mulberry: A review of bioactive compounds and advanced processing technology. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 138–158.

Yıldız, M. (2024). Effects of acacia leaf supplementation at different levels in maize silage on chemical composition (Doctoral dissertation).